

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:
Marino Grozdek

Student:
Josip Iljkić

Zagreb, 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći navedenu literaturu i znanja stečena tijekom studija.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Josip Iljkić** Mat. br.: **0035186806**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Zamjena radne tvari R-404A s radnom tvari srednjeg utjecaja na globalno zatopljenje u rashladnom uređaju za potrebe hlađenja na niske temperature**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Retrofitting of a R-404A condensing unit to a fluorinated medium GWP refrigerant for a low temperature commercial application**

Opis zadatka:

Potrebno je provesti zamjenu radne tvari R-404A s jednom od radnih tvari iz skupine HFC srednjeg utjecaja na globalno zatopljenje te utvrditi utjecaj zamjene na radne karakteristike rashladnog uređaja za potrebe hlađenja robe na niskim temperaturama u postojećem HCFC-22 rashladnom uređaju smještenom u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje, Fakulteta strojarstva i brodogradnje.

U radu je potrebno:

- o Istražiti komercijalno dostupne radne tvari iz skupine HFC, srednjeg utjecaja na globalno zatopljenje (engl. medium GWP) adekvatne za zamjenu u postojećem HCFC-22 rashladnom uređaju smještenom u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje za potrebe hlađenja robe na niskim temperaturama.
- o Provesti termodinamički proračun procesa u uređaju prije i nakon provedbe postupka zamjene.
- o Nacrtati shemu postojećeg rashladnog uređaja s prikazom svih linijskih, elektroničkih i regulacijskih elemenata.
- o Nacrtati shemu rashladnog uređaja nakon provedbe postupka zamjene radne tvari s naznakom svih elemenata (linijskih, elektroničkih i regulacijskih) koje je potrebno zamijeniti.
- o Izvršiti zamjenu radne tvari, provesti mjerenja te analizirati dobivene rezultate.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenog 2017.

Rok predaje rada:

1. rok: 23. veljače 2018.

2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.

3. rok: 21. rujna 2018.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.

2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.

3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Marino Grozdek

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

Sadržaj po poglavljima:

Sažetak	7
1. Uvod	9
1.1. Rashladni proces	9
1.2. Tehnička primjena rashladnog procesa	10
1.2. Radna tvar R404A	11
1.3. Štetno djelovanje radnih tvari	12
2. Protokoli, regulacijske uredbe i zakoni	13
2.1. Montrealski protokol	13
2.2. Kyoto protokol	13
2.3. Uredba (EU) br. 517/2014	14
2.4. Zakon o provedbi Uredbe (EU) br. 517/2014	14
3. Komponente rashladnog uređaja	15
3.1. Isparivač GEA Küba SGLE 091C	15
3.2. Kondenzacijska jedinica Bitzer LH64/2U-3.2Y	16
3.3. Ostala oprema	18
3.4. Regulacija rashladnog uređaja	19
3.5. Shema rashladnog uređaja	20
4. Proračun radne tvari R404A	21
4.1. Konstrukcijski parametri	21
4.2. Gubici kompresora i rashladni učin isparivača	22
4.3. Proračun prijenosa topline na strani radne tvari	24
4.4. Proračun prijenosa topline na strani zraka	25
4.5. Proračun kondenzatora	27
5. Zamjenske radne tvari i usporedba	32
5.1. Zamjenske radne tvari	32
5.2. Usporedba zamjenskih radnih tvari sa R404A	32
6. Zamjena radne tvari	37
6.1. Odabir zamjenske radne tvari	37
6.2. Zamjena radne tvari rashladnog uređaja	37
7. Zaključak	39
8. Literatura	40

Popis slika:

Slika 1. Standardni rashladni proces u ϑ -s dijagramu	9
Slika 2. Prikaz rashladne komore za čuvanje smrznute robe	10
Slika 3. Isparivač GEA Küba SGLE 091C	15
Slika 4. Termoekspanzijski ventil isparivača	16
Slika 5. Karakteristika kompresora za različite temperature okoliša	17
Slika 6. Kondenzacijska jedinica Bitzer LH64/2U-3.2Y	17
Slika 7. Shema rashladnog uređaja	20
Slika 8. Bitzer program korišten za proračun	28
Slika 9. Prikaz rashladnog procesa u $\log(p)$ -h dijagramu	30
Slika 10. Program Coolselector	31

Popis tablica:

Tablica 1. Svojstva radne tvari R404A	11
Tablica 2. ODP i GWP broj radne tvari R404A	12
Tablica 3. Isječak iz Priloga III. Uredbe (EU) br. 517/2014	14
Tablica 4. Usporedba kompresora	28
Tablica 5. Točke stanja sa pripadajućim vrijednostima za proces hlađenja sa R404A	30
Tablica 6. Usporedba svojstava zamjenskih radnih tvari	32
Tablica 7. Usporedba parametara procesa zamjenskih radnih tvari i cijena	33
Tablica 8. Rashladni proces sa radnom tvari R407A	33
Tablica 9. Rashladni proces sa radnom tvari R407F	34
Tablica 10. Rashladni proces sa radnom tvari R448A	34
Tablica 11. Rashladni proces sa radnom tvari R449A	35
Tablica 12. Rashladni proces sa radnom tvari R452A	35
Tablica 13. Sastav radnih tvari	36

Popis oznaka

ϑ_i	°C	Temperatura isparavanja
ϑ_k	°C	Temperatura kondenzacije
$\Delta\vartheta_{pr}$	°C	Pregrijanje
$\Delta\vartheta_{pot}$	°C	Pothlađenje
ϑ_{a1}	°C	Temperatura hladnjače
ϑ_{a2}	°C	Temperatura zraka na izlazu isparivača
ϑ_{v1}	°C	Projektna vanjska temperatura za Zagreb
ϑ_{v2}	°C	Temperatura zraka na izlazu kondenzatora
ϑ_{am}	°C	Srednja temperatura zraka
$\Delta\vartheta_m, \Delta\vartheta_{mk}$	°C	Srednja logaritamska temperaturna razlika
ϑ_s	°C	Srednja temperatura vanjske površine
ϑ_{c1}	°C	Temperatura okoliša
ϑ_u	°C	Temperatura radne tvari na usisu kompresora
H	m	Visina isparivača
L	m	Dubina isparivača
L_{uk}	m	Ukupna duljina cijevi
L_1	m	Duljina cijevi u jednom redu
d_v	m	Vanjski promjer cijevi isparivača
d_u	m	Unutarnji promjer cijevi isparivača
d_m	m	Srednji promjer cijevi isparivača
d_e	m	Ekvivalentni promjer
h	m	Visina rebara
i_r	—	Broj redova cijevi isparivača
i_t	—	Broj cijevi u redu isparivača
i_{in}	—	Broj ulaznih cijevi isparivača
s_1, s_2	m	Razmak između cijevi isparivača
f_t	m	Debljina rebara isparivača
s_f	m	Razmak između rebara isparivača
A_v	m ²	Vanjska površina izmjene topline isparivača
A_u	m ²	Untarnja površina isparivača za izmjenu topline
A_z	m ²	Najmanja površina u presjeku

A_{mt}	m^2/m	Vanjska površina cijevi između rebara po metru
A_r	m^2/m	Površina rebara za jedan metar orebrene cijevi
A_{e1}	m^2/m	Vanjska površina isparivača po metru
A_{i1}	m^2/m	Unutarnja površina isparivača po metru
$A_f, B_f, h_f, \delta_t,$	m	Pomoćne veličine
p_i	bar	Tlak isparavanja
p_k	bar	Tlak kondenzacije
p_{ok}	bar	Tlak okoline
p_u	bar	Tlak na usisnoj strani kompresora
p_t	bar	Tlak na tlačnoj strani kompresora
q_{vi}	m^3/s	Volumni protok zraka kroz isparivač
q_{vk}	m^3/s	Volumni protok zraka kroz kondenzator
q_{vrt}	m^3/s	Dobava kompresora
q_{mrt}	kg/s	Maseni protok radne tvari
G	$kg/(m^2 s)$	Masena brzina radne tvari u cijevima
w	m/s	Brzina u najmanjem presjeku
k	—	Konstanta
ε_o	—	Udio štetnog prostora
β	—	Omjer vanjske i unutarnje površine isparivača
n_{ko}	—	Eksponent politrope kompresije
n_{ek}	—	Eksponent politrope ekspanzije
$C, n, C_r, C_s, m_f, \rho_f$	—	Pomoćne veličine
R_o, R_i	—	Otpor prijenosu topline zbog stvaranja naslaga
R_t	—	Otpor prijenosu topline zbog materijala
C_k	—	Faktor otpora zbog nesavršenosti kontakta
ξ_w	—	Koeficijent povećanja prijelaza topline zbog vlage
E	—	Učinkovitost rebara
λ_1	—	Volumetrijski stupanj djelovanja zbog propuštanja
λ_2	—	Volumetrijski stupanj zbog izmjene topline
λ_3	—	Volumetrijski stupanj djelovanja zbog usisavanja
λ	—	Ukupni volumetrijski stupanj djelovanja kompresora
ρ_{rt}	kg/m^3	Gustoća radne tvari na usisu kompresora
ρ_{zr}	kg/m^3	Gustoća zraka za ϑ_{am}

c_{pZR}	J/kgK	Specifični toplinski kapacitet zraka za ϑ_{am}
μ_{ZR}	Pas	Dinamička viskoznost zraka za ϑ_{am}
ν_{ZR}	m ² /s	Kinematička viskoznost zraka za ϑ_{am}
x_{a1}	kg/kg	Sadržaj vlage ulaznog zraka isaprivača
x_{a2}	kg/kg	Sadržaj vlage izlaznog zraka iz isparivača
x_s	kg/kg	Sadržaj vlage zraka za temperaturu rošenja
ν_{a1}	m ³ /kg	Specifični volumen zraka na ulazu isparivača
φ_{a1}	—	Relativna vlažnost ulaznog zraka isaprivača
φ_s	—	Relativna vlažnost za temperaturu rošenja
ε	—	Faktor hlađenja
h_1	J/kg	Entalpija radne tvari na izlazu iz isparivača
h_2	J/kg	Entalpija radne tvari na izlazu iz kompresora
h_4	J/kg	Entalpija radne tvari na ulazu u isparivač
h_{a1}	J/kg	Entalpija zraka na ulazu isparivača
h_{a2}	J/kg	Entalpija izlaznog zraka iz isparivača
q_u	W/m ²	Specifični rashladni učin sveden na unutarnju površinu isparivača
P	W	Snaga kompresora
ϕ_k	W	Učin kondenzatora
ϕ_o	W	Rashladni učin isparivača
α_{rt}	W/(m ² K)	Koeficijent prijenosa topline na strani radne tvari
α_a	W/(m ² K)	Koeficijent prijelaza topline na strani zraka
α_{aw}	W/(m ² K)	Uvećani koeficijent prijelaza topline na strani zraka
k_u	W/(m ² K)	Koeficijent prolaza topline sveden na unutarnju stranu cijevi
λ_f	W/mK	Toplinska provodnost aluminijske ploče
λ_t	W/mK	Toplinska provodnost bakra
λ_{ZR}	W/mK	Toplinska provodnost zraka
Re	—	Reynoldsov broj
Nu	—	Nusseltov broj

Sažetak

Tehnološki razvoj omogućuje nam sve komforniji način života. Jedna od tih mogućnosti je i konzumacija raznih prehrambenih proizvoda van njihove sezone dozrijevanja. Da bi proizvodi bili dostupni tijekom cijele godine potrebno je održavati ih na niskoj temperaturi u hladnjačama jer niske temperature ploda usporavaju njegovo propadanje. Za postizanje niskih temperatura u hladnjačama koriste se rashladni uređaji punjeni različitim radnim tvarima koje zbog svojih fizikalnih svojstava omogućuju postizanje željenih temperatura. Istoimene radne tvari, ako se njima nepropisno rukuje ili dođe do propuštanja i nekontroliranog otjecanja radnih tvari u okoliš, imaju negativan utjecaj na ozonski sloj i ubrzavaju globalno zatopljenje. Utjecaj radnih tvari na globalno zatopljenje izražen je preko GWP (Global warming potential) broja. Različite radne tvari imaju različiti GWP broj, a danas se raznim uredbama i zakonima želi postići korištenje radnih tvari sa što nižim GWP-om. Radna tvar R404A ima relativno visok GWP što će provedbom F-Gas regulative u skoroj budućnosti značiti njenu potpunu zabranu korištenja. Zbog toga se pokušavaju pronaći radne tvari sličnih svojstava sa nižim GWP-om kako bi poslužile kao zamjenska radna tvar u već postojećim uređajima i kao nova radna tvar za buduće uređaje. Ovim radom nastoji se usporediti radnu tvar R404A sa nizom radnih tvari sličnih svojstava, ali sa nižim GWP-om. Njihova je usporedba provedena računski za postojeći rashladni uređaj u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Rezultati su analizirani i odabrana je idealna zamjena.

Ključne riječi: R404A, GWP, zamjena radne tvari, F-Gas regulativa

Summary

Technological development provides us with a more comfortable way of life. One of these advantages is the consumption of various food products out of their maturing season. In order to make the products available all year long, it is necessary to maintain them at low temperature in cold rooms because low temperature slows down its decay. Refrigeration devices are filled with different refrigerants which, due to their physical properties, allow achieving the desired temperatures. If improperly handled or uncontrolled leakage of refrigerant into the environment occurs it can have a negative impact on ozone depletion and can accelerate global warming. The impact of refrigerant on global warming is expressed through the GWP (Global warming potential) number. Different refrigerants have different GWP numbers, and today various laws oblige us to use lower-grade GWP refrigerants. The R404A has a relatively high GWP and after implementation of F-Gas regulation it will be completely banned. This is why attempts are made to find similar refrigerants with lower GWPs to serve as a substitute workforce in existing devices and as a new workforce for future devices. This work seeks to compare R404A with a range of similar refrigerants, but with lower GWP. Their comparison was based on calculations for the existing refrigeration device at the Laboratory for Heat and Heat Devices of the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb. The results were analyzed and the ideal replacement was chosen.

Key words: R404A, GWP, drop in refrigerants, F-Gas regulation, cold room

1. Uvod

1.1. Rashladni proces

Rashladni proces realna je izvedba ljevokretnog Carnotovog kružnog procesa. Ljevokretni kružni proces uzima toplinski tok iz hladnijeg spremnika i uz trošak snage predaje ga toplijem spremniku. U našem slučaju hladniji spremnik je hladionica, topliji okoliš, a snaga se dovodi preko kompresora. Toplina se odvodi iz hladionice isparivačem, a predaje okolišu preko kondenzatora.

Specifični rashladni učin isparivača:

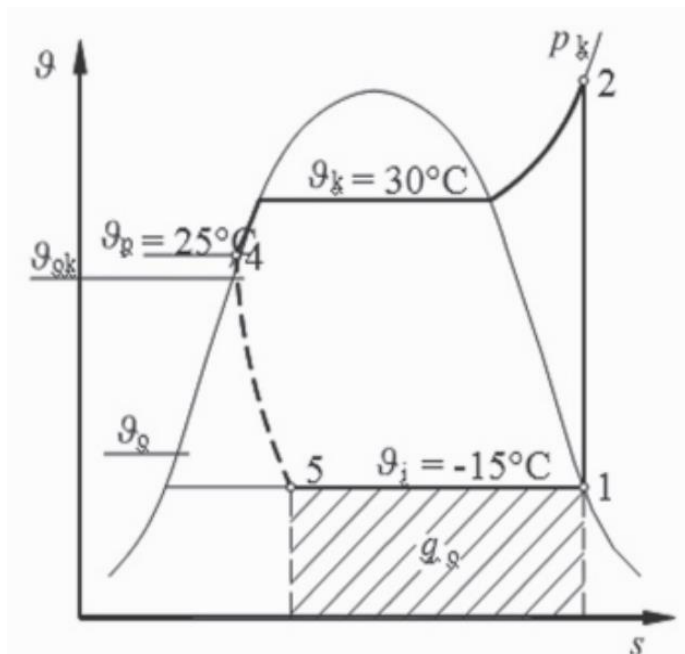
$$q_o = h_1 - h_5$$

Specifični rad kompresora:

$$w_k = h_2 - h_1$$

Specifični toplinski tok predan okolišu:

$$q_k = h_2 - h_4$$



Slika 1. Standardni rashladni proces u θ -s dijagramu.

Radna tvar isparavanjem u isparivaču preuzima na sebe toplinski tok iz hladionice zbog razlike temperatura isparavanja i zraka u hladionici. Nakon potpunog prelaska radne tvari u parnu fazu, ista se pregrijava kako bi se osigurao ulazak pare u kompresor. Radna tvar diže se na viši energetski nivo kompresijom te zatim kondenzatorom predaje toplinski tok okolišu niže temperature. Nakon kondenzacije vrši se pothlađenje radne tvari. Nakon pothlađenja radna tvar ekspanzira prolaskom kroz prigušni ventil ili drugu vrstu ekspanzijskog uređaja u kojem se tlak radne tvari dovodi na željeni tlak isparavanja. Time je radna tvar zatvorila jedan ciklus kružnog procesa.

1.2. Tehnička primjena rashladnog procesa

Jedan od čestih načina primjene rashladnog procesa je održavanje hrane zamrznutom na niskim temperaturama ili održavanje na srednjim temperaturama kako bismo ju što duže očuvali svježom i pogodnom za konzumaciju. Direktiva Europske unije 89/108/EEZ [1] propisuje čuvanje brzo smrznute hrane na temperaturama od -18°C ili nižim zbog zaustavljanja mikrobiološke aktivnosti koja bi mogla pogoršati kakvoću hrane. Nešto viša temperatura dozvoljena je tijekom transporta hrane, do maksimalno 3°C , te do 6°C u izlozima maloprodajnih dućana.

Hrana koje je smrznuta stoga se čuva u hladnjačama, poput one na *Slici 2.*, koje omogućuju, zbog svojih izvrsnih izolacijskih svojstava, održavanje niskih temperatura propisanih zakonom. U ovom radu usredotočit ćemo se baš na taj tip rashladnog procesa jer uređaj u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje upravo najbolje simulira rad takvih postrojenja, te je radna tvar R404A jedna od najčešće upotrebljivanih tvari u takvim sustavima.



Slika 2. Prikaz rashladne komore za čuvanje smrznute robe

1.3. Radna tvar R404A

Radna tvar R404A spada u skupinu fluoriranih ugljikovodika (HFC). Sastoji se od radnih tvari R143A, R125 i R134A u masenom omjeru 52/44/4. Poslužila je kao zamjena za puno štetnije radne tvari R502 i R12. Isto tako ona je zeotropna smjesa, što znači da pri promjeni agregatnog stanja para i kapljevina mijenjaju koncentraciju uz klizanje temperature. Nije toksična niti zapaljiva pa stoga spada u ASHRAE klasu sigurnosti A1 [2].

Neka svojstva, dana za standardni rashladni proces prikazan *Slikom 1.*, nalaze se u *tablici 1.*:

	R404A
Klizanje temperature, °C	0,5
Zapaljivost	ne
Toksičnost	ne
Molekularna masa, g/mol	97,6
Kritična temperatura, °C	72,14
Kritični tlak, bar	37,4
Temperatura vrenja (patm), °C	-46,6
Tlak vrenja/rošenja (-15°C), bar	3,72
Gustoća kapljevine (30°C), kg/m^3	1021
Gustoća pare (-15°C), kg/m^3	18,57
Toplina isparavanja (-15°C), kJ/kg	177,7

Tablica 1. Svojstva radne tvari R404A

Koristi se u komercijalnim rashladnim uređajima i rashladnim komorama za hlađenje na srednje i niske temperature. Isto tako za hlađenje robe tijekom transporta u kamionima i drugim prijevoznim sredstvima. Relativno je široka upotreba radne tvari R404A upravo za hlađenje prehrambenih proizvoda u supermarketima i održavanjem zamrznutim proizvoda u hladnjačama, a nešto manje se koristi u industriji i u ostalim granama gospodarstva.

1.4. Štetno djelovanje radnih tvari

Štetno djelovanje radnih tvari izraženo je dvjema veličinama. Prva je potencijal razgradnje ozona, ODP (eng. Ozone Depletion Potential), a druga potencijal globalnog zagrijavanja, GWP (eng. Global Warming Potential).

ODP je funkcija sposobnosti oslobađanja klora (Cl) i broma (Br), te vremenske postojanosti u atmosferi. Kao referentnu vrijednost uzima se djelovanje freona R11 ($CFCl_3$), ODP=1. Ovaj faktor posljedica je svih potencijalnih djelovanja na ozon, koja traju do potpune razgradnje štetne tvari u ozonu. Vodik (H) u molekulama spojeva HCFC smanjuje njihovu postojanost u atmosferi na 2 do 20 godina. Fluorirani ugljikovodici (HFC) ne sadrže klor, te stoga ne razaraju ozon, njihov je ODP=0 [2].

GWP neke tvari oslobođene u atmosferu je broj koji govori koliki je relativni utjecaj te tvari na stvaranje efekta staklenika u odnosu na utjecaj CO_2 . Kao referentna vrijednost uzima se djelovanje CO_2 (R744) koji se stvara u najvećim količinama, GWP=1. CO_2 trajno ostaje u atmosferi, te je stoga uvijek potrebno navesti za koji je vremenski period GWP izražen (20, 100 ili 500 godina) [2]:

Radna tvar R404A bezopasna je za ozon, međutim ima relativno visok GWP zbog čega će provedbom F-gas regulative bit potpuno zabranjeno stavljanje na tržište Europske unije sve komercijalne rashladne uređaje koji koriste R404A.

	R404A
ODP	0
GWP	3922

Tablica 2. ODP i GWP broj radne tvari R404A.

2. Protokoli, regulacijske uredbe i zakoni

2.1. Montrealski protokol

Montrealski protokol je sporazum koji je donesen 1987. godine u kanadskom gradu Montrealu kojim se zemlje potpisnice obvezuju na smanjenje uporabe freona za 50%. Freonima se nazivaju klorofluorougljici (CFC). Montrealski protokol pooštren je dvjema revizijama, 1990. u Londonu i 1992. u Kopenhagenu, kojima je zatraženo da se do 2000. iz uporabe potpuno izbace freoni, haloni i drugi halogenirani ugljikovodici. Do danas je 150 zemalja potpisalo Montrealski protokol, a među njima i Hrvatska [3].

Montrealskim protokolom zaustavila se rastuća potrošnja rashladnih tvari koje su imale enorman utjecaj na stvaranje ozonskih „rupa“. Klorofluorougljici (CFC) i klorofluorougljikovodici (HCFC) zamijenjeni su fluoriranim ugljikovodicima (HFC) koji su bezopasni za ozon, međutim kako će se kasnije pokazati imaju velik utjecaj na globalno zagrijavanje.

2.2. Kyoto protokol

Protokol iz Kyota uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime dodatak je međunarodnom sporazumu o klimatskim promjenama, potpisan s ciljem smanjivanja emisije ugljičnog dioksida i drugih stakleničkih plinova. Do sad ga je potpisalo 170 država i vladinih organizacija (stanje: prosinac 2006.). Protokol je stupio na snagu 16. veljače 2005., kada ga je ratificirala Rusija. Države koje su ga ratificirale čine 61% zagađivača.

Protokolom se smanjuje ispuštanje šest stakleničkih plinova: ugljičnog dioksida, metana, dušikovog oksida, fluoriranih ugljikovodika (HFC), perfluoriranih ugljikovodika i heksafluorida. U posljednjih nekoliko desetljeća, koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi povećale su se zbog izgaranja fosilnih goriva u industriji, prometu itd., što je pridonijelo globalnom zagrijavanju i klimatskim promjenama [4].

2.3. Uredba (EU) br. 517/2014

Pod utjecajem globalne politike o zaštiti okoliša Europski parlament donosi restriktivne mjere koje uvijek iznova postrožuju uvjete primjene rashladnih radnih tvari i ostalih po okoliš potencijalno štetnih tvari. Zadnja koja je donesena i trenutno na snazi jest Uredba (EU) BR. 517/2014 o fluoriranim stakleničkim plinovima.

Europski parlament i Vijeće Europske unije donijeli su 16. travnja 2014. Uredbu (EU) BR. 517/2014 o fluoriranim stakleničkim plinovima i stavljanju izvan snage Uredbe (EZ) br. 842/2006, poznatije i kao F-gas regulativa. Uredbom se ograničava stavljanje na tržište nepokretne rashladne opreme koja sadrži HFC ili čije funkcioniranje ovisi o HFC s GWP-om od 2 500 ili više, osim opreme osmišljene za rashlađivanje proizvoda na temperaturama ispod – 50 °C. Navedeno ograničenje stupit će na snagu 1. siječnja 2020. godine [5].

Proizvodi i oprema Gdje je relevantno, GWP mješavina koje sadržavaju fluorirane stakleničke plinove izračunava se u skladu s Prilogom IV., kako je predviđeno u članku 2. točki 6.	Datum zabrane
12. Nepokretna rashladna oprema koja sadrži HFC ili čije funkcioniranje ovisi o HFC s GWP-om od 2 500 ili više, osim opreme osmišljene za rashlađivanje proizvoda na temperaturama ispod – 50 °C	1. siječnja 2020.

Tablica 3. Isječak iz Priloga III. Uredbe (EU) br. 517/2014

2.4. Zakon o provedbi Uredbe (EU) br. 517/2014

Hrvatski sabor donio je zakon o provedbi Uredbe (EU) BR. 517/2014 19. lipnja 2017. koji nalaže novčanu kaznu u iznosu od 30.000,00 do 100.000,00 kuna za pravne osobe ako na tržište stavljaju proizvode i opremu koja sadržava, odnosno u radu koristi fluorirane stakleničke plinove iz Priloga III. Uredbe (EU) br. 517/2014 protivno članku 11. stavku 5. Uredbe (EU) BR. 517/2014. Navedeno se nalazi u članku 14. stavku 11. Zakona o provedbi Uredbe (EU) br. 517/2014 Europskog parlamenta i Vijeća od 16. travnja 2014. o fluoriranim stakleničkim plinovima i stavljanju izvan snage Uredbe (EZ) br. 842/2006 [6].

3. Komponente rashladnog uređaja

3.1. Isparivač GEA Küba SGLE 091C

Isparivačka jedinica održava temperaturu u hladionici strujanjem zraka kroz sekcije isparivača prisilnom konvekcijom pomoću jednog ventilatora, *Slika 3*. Dobava ventilatora isparivača iznosi $4890 \text{ m}^3/\text{h}$. Bakrene cijevi isparivača orebrene su aluminijskim rebrima kako bi se povećala površina za izmjenu topline, a time poboljšala sama izmjena topline. Za postizanje potpunog isparavanja i dodatnog pregrijavanja radne tvari isparivač je opremljen termoelektričnim ventilom s vanjskim izjednačavanjem tlaka koji je vidljiv na *Slici 4*.



Slika 3. Isparivač GEA Küba SGLE 091C

Isparivač je smješten pri stropu rashladne komore nasuprot vratima, čime je osigurano najpovoljnije strujanje ohlađenog zraka unutar same komore.

Konstruktivski parametri isparivača:

Vanjski promjer cijevi: $d_v = 12 \text{ mm}$

Unutarnji promjer cijevi: $d_u = 10 \text{ mm}$

Srednji promjer cijevi: $d_m = 11 \text{ mm}$

Broj redova cijevi: $i_r = 6$

Broj cijevi u redu: $i_t = 12$

Broj ulaznih cijevi: $i_{in} = 4$

Razmak između cijevi $s_1 = s_2 = 50 \text{ mm}$

Debljina rebara: $f_t = 0,5 \text{ mm}$

Razmak između rebara: $s_f = 12 \text{ mm}$

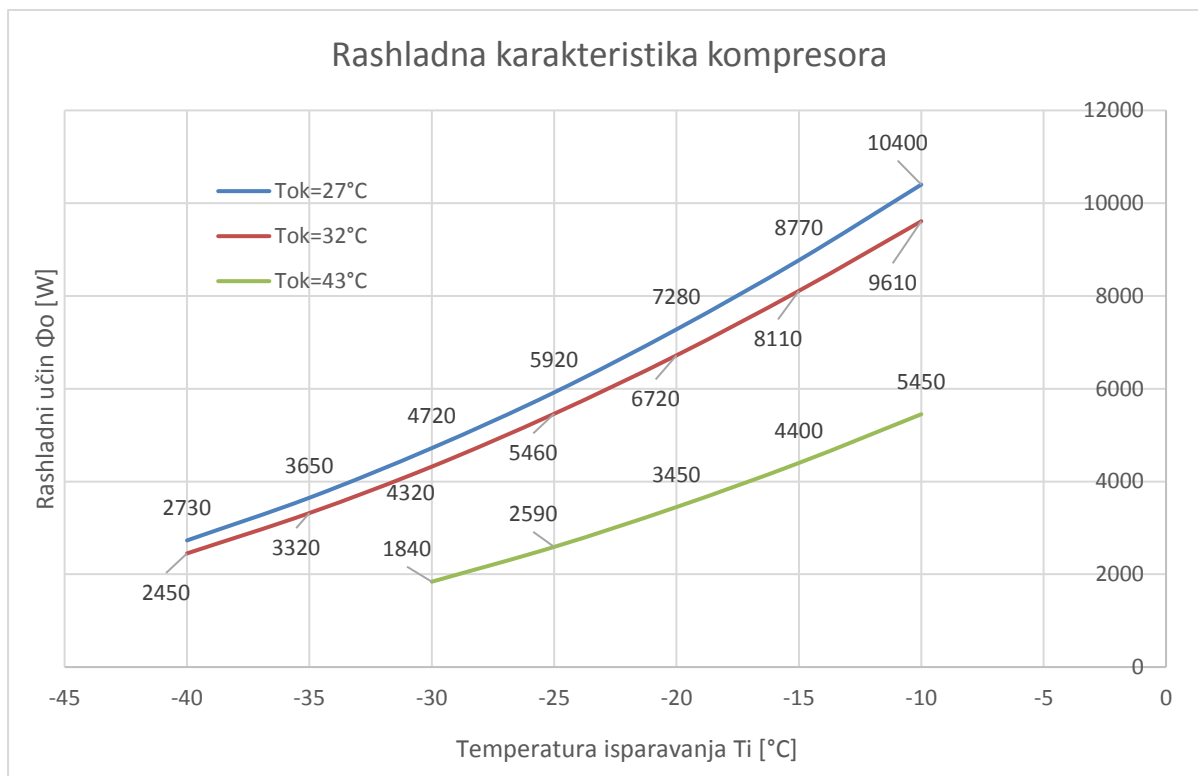
Vanjska površina izmjene topline: $A_v = 25,2 \text{ m}^2$



Slika 4. Termoekspanzijski ventil isparivača

3.2. Kondenzacijska jedinica Bitzer LH64/2U-3.2Y

Kondenzacijska jedinica, prikazana na *Slici 6.*, nalazi se u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Sastoji se od kompresora tipa 2U-3.2Y proizvođača Bitzer i kondenzatora tipa LH64. Tip kompresora je poluhermetički, jednostupanjski, trofazni sa dva cilindra. Ulje koje se nalazi u kompresoru je ESTER BSE 32. Kondenzacijska jedinica opremljena je separatorom ulja, te sabirnom posudom za prikupljanje radne tvari nakon kondenzacije. Osim toga, na kompresoru se nalazi i pokazno staklo za provjeru razine ulja u sustavu te diferencijalni presostat koji služi za isključivanje uređaja ako razina ulja padne ispod postavljene granice. Kondenzator je opremljen ventilatorom za bolju izmjenu topline. Dobava ventilatora iznosi $3890 \text{ m}^3/\text{h}$, a dobava kompresora, očitana sa pločice kompresora, iznosi $18,6 \text{ m}^3/\text{h}$ radne tvari na usisu kompresora. Sabirnik, volumena 7,8 litara, služi za prihvatanje ukupljene radne tvari koja se u njemu pothlađuje za $2 \text{ }^\circ\text{C}$.



Slika 5. Karakteristika kompresora za različite temperature okoliša



Slika 6. Kondenzacijska jedinica Bitzer LH64/2U-3.2Y

3.3. Ostala oprema

Filtar sušać

Komponenta rashladnog uređaja koja služi za neutralizaciju vlage u sustavu i filtriranje nečistoća. Vлага i nečistoće skraćuju životni vijek uređaja tako što mogu uzrokovati koroziju metalnih dijelova, blokirati prigušne ventile, razgraditi ulje ili pak kemijski uništiti izolaciju u poluhermetičkim i hermetičkim kompresorima, stoga je filtracija radne tvari neophodna za ispravan rad uređaja [2].

Regulator kapaciteta – KVC12

Regulator kapaciteta održava balans između učina isparivača i učina kompresora tako što se dovodi hladni, odnosno vrući plin kao zamjesni kapacitet. Postavlja se na obilazni vod između usisne i tlačne strane i konstruiran je za direktno ubrizgavanje plina na usisnu stranu [7].

Regulator tlaka isparavanja – KVP28

Regulator tlaka isparavanja postavlja se nakon isparivača u usisnom vodu. Njegova namjena je višestruka:

- a) Održava konstantnim tlak isparavanja, a samim time i konstantnu temperaturu isparavanja. Regulacija je modulirajuća. Prigušivanjem u usisnom vodu količina radne tvari dozira se za zadani učin isparivača.
- b) Služi kao zaštita protiv preniskog tlaka isparavanja. Regulator se zatvara ako je tlak isparavanja niži od postavljene donje granice [8].

Kontrolno staklo

Kontrolno staklo služi za provjeru stanja radne tvari u rashladnom uređaju. Nalazi se u kapljevinskom vodu nakon filtra sušaća. S obzirom na boju indikatora možemo zaključiti sljedeće [2]:

- a) Zelena boja – vlaga nije prisutna u rashladnom uređaju
- b) Žuta boja – vlaga je prisutna u rashladnom uređaju

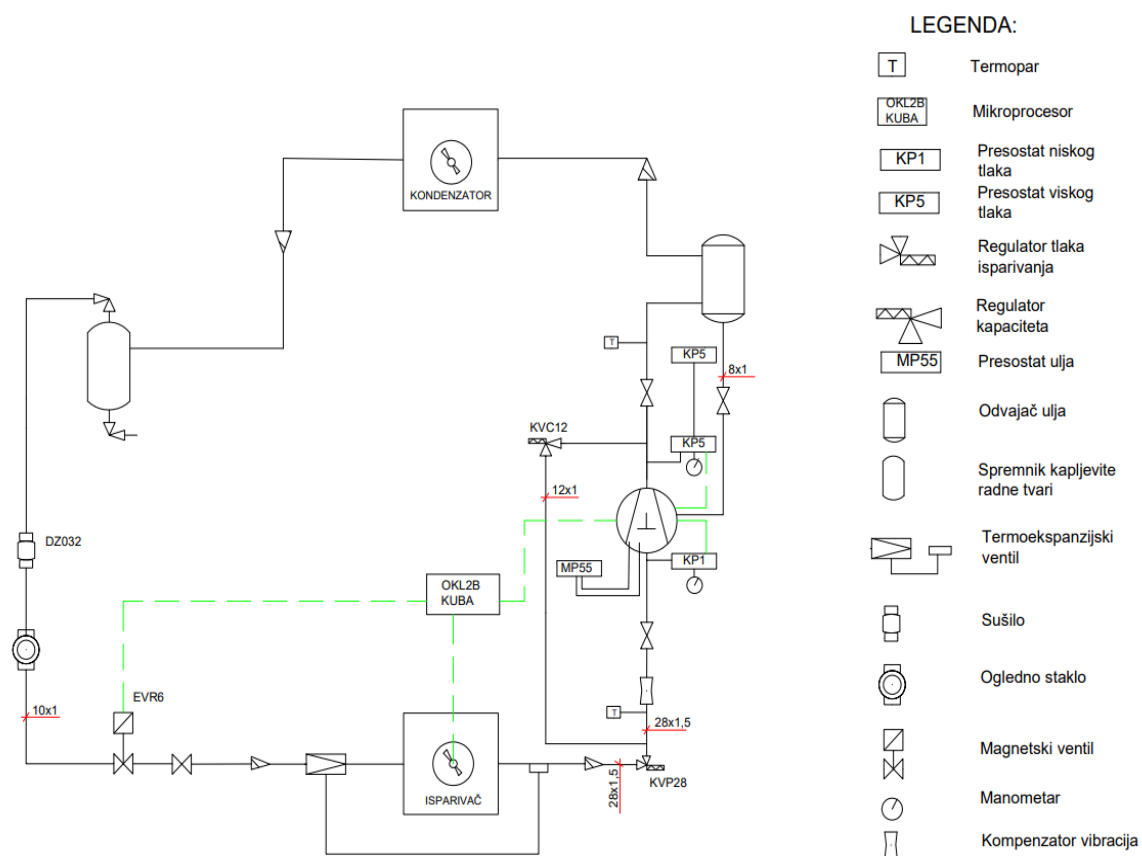
- c) Smeđa boja – prisutnost nečistoća u rashladnom uređaju
- d) Čista para – nedostaje radne tvari u sustavu ili je došlo do začepljenja u rashladnom uređaju
- e) Kapljevina i mjehurići - nedostaje radne tvari u sustavu ili je došlo do djelomičnog začepljenja u rashladnom uređaju

3.4. Regulacija rashladnog uređaja

Regulacijski uređaj opremljen je termostatom u hladionici i presostatom niskog tlaka (KP1). Hlađenjem se temperatura u hladionici snizuje i kad dosegne minimalnu vrijednost, termostat prekida strujni krug magnetnog ventila (EVR6), on se zatvori i napajanje isparivača radnom tvari prestane. Kompresor i dalje radi, dok se tlak na njegovom usisnom priključku ne snizi do minimalne dozvoljene vrijednosti kada presostat niskog tlaka prekida strujni krug svitka elektromagnetne sklopke kompresora. Hlađenje prestaje, a u isparivaču vlada minimalni tlak. Kod porasta temperature u hladionici na maksimalnu dozvoljenu vrijednost, termostat uključuje strujni krug elektromagnetnog ventila, on se otvara, tlak u isparivaču raste jer dotječe radna tvar iz kondenzatora ili sakupljača kapljevite radne tvari, presostat niskog tlaka uključuje sklopnik elektromotora kompresora i hlađenje se nastavlja.

Uređaj je osiguran presostatom visokog tlaka (KP5), koji otvara svoj prekidač kada tlak u kondenzatoru premaši najviši dopušteni tlak. Tada se prekida napajanje strujnih krugova automatike i uređaj se automatski zaustavlja [9].

3.5. Shema rashladnog uređaja



Slika 7. Shema rashladnog uređaja

4. Proračun radne tvari R404A

Termodinamički proračun, po Ciconkovu [10], zasniva se na izračunu specifičnog rashladnog učina za zadane projektne uvjete i pripadajuće radne uvjete u balansnoj točki koji smo ustanovili nakon višestruke iteracije:

Temperatura isparavanja: $\vartheta_i = -24,6\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura kondenzacije: $\vartheta_k = 38,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Pregrijanje: $\Delta\vartheta_{pr} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Pothlađenje: $\Delta\vartheta_{pot} = 2\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tlak isparavanja: $p_i = 2,486\text{ bar}$

Tlak kondenzacije: $p_k = 17,33\text{ bar}$

Temperatura hladnjače: $\vartheta_{a1} = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$

Projektna vanjska temperatura za Zagreb: $\vartheta_{v1} = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tlak okoline: $p_{ok} = 1\text{ bar}$

4.1. Konstrukcijski parametri

Konstrukcijski parametri isparivača GEA Küba SGLE 091 i kondenzacijske jedinice LH64/2U-3.2Y

Vanjski promjer cijevi: $d_v = 12\text{ mm}$

Unutarnji promjer cijevi: $d_u = 10\text{ mm}$

Srednji promjer cijevi: $d_m = 11\text{ mm}$

Broj redova cijevi: $i_r = 6$

Broj cijevi u redu: $i_t = 12$

Broj ulaznih cijevi: $i_{in} = 4$

Razmak između cijevi $s_1 = s_2 = 50\text{ mm}$

Debljina rebara: $f_t = 0,5\text{ mm}$

Razmak između rebara: $s_f = 12\text{ mm}$

Vanjska površina izmjene topline: $A_v = 25,2\text{ m}^2$

Vanjska površina cijevi između rebara za jedan metar orebrene cijevi: A_{mt}

$$A_{mt} = \pi * d_v * \left(1 - \frac{f_t}{s_f}\right) = 0,0353 \frac{m^2}{m}$$

Površina rebara za jedan metar orebrene cijevi: A_r

$$A_r = \frac{2 * \left(s_1 * s_2 - \pi * \frac{d_v^2}{4}\right)}{s_f} = 0,5967 \frac{m^2}{m}$$

Vanjska površina isparivača za izmjenu topline po jednom metru: A_{e1}

$$A_{e1} = A_{mt} + A_r = 0,6321 \frac{m^2}{m}$$

Unutarnja površina isparivača za izmjenu topline po jednom metru: A_{i1}

$$A_{i1} = \pi * d_u = 0,0314 \frac{m^2}{m}$$

Omjer vanjske i unutarnje površine isparivača za izmjenu topline: β

$$\beta = \frac{A_{e1}}{A_{i1}} = 20,12$$

Visina isparivača: H

$$H = i_t * s_1 = 0,6 \text{ m}$$

Dubina isparivača: L

$$L = i_r * s_2 = 0,3 \text{ m}$$

Volumni protok zraka kroz isparivač: $q_{vi} = 4890 \frac{m^3}{h}$

Volumni protok zraka kroz kondenzator: $q_{vk} = 3890 \frac{m^3}{h}$

Dobava kompresora: $q_{vrt} = 18,6 \frac{m^3}{h}$

4.2. Gubici kompresora i rashladni učin isparivača:

Proračun ovog poglavlja koji se odnosi na gubitke kompresora proračunat je po knjizi prof. Andrassya [11]:

Konstanta: $k=0,05$

Udio štetnog prostora: $\varepsilon_o = 0,03$

EkspONENT politrope kompresije: $n_{ko} = 1,35$

EkspONENT politrope ekspanzije: $n_{ek} = 1,3$

Tlak na usisnoj strani kompresora: p_u

$$p_u = p_i - 0,05 * p_i = 2,3617 \text{ bar}$$

Tlak na tlačnoj strani kompresora: p_t

$$p_t = p_k + 0,03 * p_k = 17,849 \text{ bar}$$

Gubitak zbog propuštanja: $\lambda_1 = 0,98$

Gubitak radi izmjene topline: λ_2

$$\lambda_2 = 1 - k * \left(\frac{p_t}{p_u - 1} \right) = 0,672$$

Gubitak radi usisavanja: λ_3

$$\lambda_3 = \frac{p_u}{p_i} - \varepsilon_o * \left(\left(\frac{p_t}{p_i} \right)^{\frac{1}{n_{ek}}} - \left(\frac{p_u}{p_i} \right)^{\frac{1}{n_{ko}}} \right) = 0,855$$

Ukupni gubiteci kompresora: λ

$$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 = 0,56$$

Maseni protok radne tvari: q_{mrt}

$$\text{Gustoća radne tvari na usisu kompresora: } \rho_{rt} = 12,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q_{mrt} = q_{vrt} * \rho_{rt} * \lambda = 0,03617 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Rashladni učin isparivača: ϕ_o

$$\text{Entalpija radne tvari na ulazu u isparivač: } h_4 = 252900 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\text{Entalpija radne tvari na izlazu iz isparivača: } h_1 = 353500 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\phi_o = q_{mrt} * (h_1 - h_4) = 3639 \text{ W}$$

Srednja logaritamska temperaturna razlika isparivača: $\Delta\vartheta_m$

$$\Delta\vartheta_m = \frac{\vartheta_{a1} - \vartheta_{a2}}{\ln \frac{\vartheta_{a1} - \vartheta_i}{\vartheta_{a2} - \vartheta_i}} = 5,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Srednja temperatura zraka: ϑ_{am}

$$\vartheta_{am} = \vartheta_i + \Delta\vartheta_m = -19,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Svojstva zraka za $\vartheta_{am} = -19,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ iz Toplinskih tablica [12]:

$$c_{pZR} = 1004,4 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$\rho_{ZR} = 1,375 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\lambda_{ZR} = 0,0225 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$\mu_{zr} = 0,000016 \text{ Pas}$$

$$\nu_{zr} = 0,0000116 \frac{m^2}{s}$$

Temperatura zraka na izlazu isparivača: ϑ_{a2}

$$\vartheta_{a2} = \frac{-\phi_0}{c_{pZR} * q_{vZR} * \rho_{ZR}} + \vartheta_{a1} = -20,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Vlaga uključena u proračun na strani zraka:

$$\varphi_{a1} = 0,88$$

Sadržaj vlage ulaznog zraka isparivača [17]: x_{a1}

$$x_{a1} = 0,622 * \frac{\varphi_{a1} * p_{s1}}{1 - \varphi_{a1} * p_{s1}} = 0,00069 \frac{kg}{kg}$$

Entalpija zraka na ulazu isparivača: h_{a1}

$$h_{a1} = 1005 * \vartheta_{a1} + x_{a1} * (2500 * 10^3 + 1930 * \vartheta_{a1}) = -16399 \frac{J}{kg}$$

Specifični volumen zraka na ulazu isparivača: ν_{a1}

$$\nu_{a1} = 461,5 * \frac{T_{a1}}{p_{a1}} * (0,622 + x_{a1}) = 0,733 \frac{m^3}{kg}$$

4.2. Proračun prijenosa topline na strani radne tvari:

Masena brzina radne tvari u cijevima: G

$$G = \frac{q_{mrt}}{i_{in} * \pi * \frac{d_u^2}{4}} = 115,12 \frac{kg}{m^2s}$$

Untarnja površina isparivača za izmjenu topline: A_u

$$A_u = \frac{A_v}{\beta} = 1,25 \text{ } m^2$$

Specifični rashladni učin sveden na unutarnju površinu isparivača: q_u

$$q_u = \frac{\phi_o}{A_u} = 2905 \frac{W}{m^2}$$

Koeficijent prijenosa topline na strani radne tvari: α_{rt}

$$C=0,159$$

$$\alpha_{rt} = C * \frac{G^{0,1} * q_u^{0,7}}{d_u^{0,5}} = 678,73 \frac{W}{m^2K}$$

Otpor prijenosu topline zbog materijala: R_t

$$\delta_t = \frac{d_v - d_u}{2} = 0,001 \text{ m}$$

$$\lambda_t = 370 \frac{W}{mK}$$

$$R_t = \frac{\delta_t}{\lambda_t} = 2,7 * 10^{-6}$$

Otpor prijenosu topline zbog stvaranja naslaga: R_o, R_i

$$\text{Sa vanjske strane: } R_o = 0,0005 \frac{m^2K}{W}$$

$$\text{Sa unutarnje strane: } R_i = 0 \frac{m^2K}{W}$$

Srednja temperatura vanjske površine ($\varphi_s = 1$): ϑ_s

$$\vartheta_s = \vartheta_i + \left(\frac{1}{\alpha_{rt}} + R_i + R_t * \frac{d_u}{d_m} + R_o * \frac{1}{\beta} \right) * q_u = -20,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sadržaj vlage: $x_s = 0,00062 \frac{kg}{kg}$

Sadržaj vlage izlaznog zraka iz isparivača: x_{a2}

$$x_{a2} = x_{a1} - \frac{(x_{a1} - x_s) * (\vartheta_{a1} - \vartheta_{a2})}{\vartheta_{a1} - \vartheta_s} = 0,0006 \frac{kg}{kg}$$

Entalpija izlaznog zraka iz isparivača: h_{a2}

$$h_{a2} = 1005 * \vartheta_{a2} + x_{a2} * (2500 * 10^3 + 1930 * \vartheta_{a2}) = -20772 \frac{J}{kg}$$

Ukupna duljina cijevi: L_{uk}

$$L_{uk} = \frac{A_v}{A_{i1}} = 39,9 \text{ m}$$

Duljina cijevi u jednom redu: L_1

$$L_1 = \frac{L_{uk}}{i_r} = 6,64 \text{ m}$$

4.3. Proračun prijenosa topline na strani zraka:

Najmanja površina u presjeku (između cijevi i rebara): A_z

$$A_z = L_1 * (s_1 - d_v) * \left(1 - \frac{f_t}{s_f} \right) = 0,2367 \text{ m}^2$$

Brzina u najmanjem presjeku: w

$$w = \frac{q_{vi}}{A_z} = 5,74 \frac{m}{s}$$

Reynoldsov broj: Re

$$Re = \frac{W * S_f}{v_{zr}} = 3945$$

Visina rebara: h

Ekvivalentni promjer: d_e

$$d_e = 2 * \frac{(s_1 - d_e) * (s_f - f_t)}{(s_1 - d_e + s_f - f_t)} = 0,0125 \text{ m}$$

$$h = \frac{s_1 - d_e}{2} = 0,019 \text{ m}$$

Nusseltov broj: Nu

Vrijednosti po Ciconkovom proračunu iz tablica na stranici 154.:

$$C = 0,105$$

$$n = 0,72$$

$$C_r = 1$$

$$C_s = 1$$

$$Nu = C * C_r * C_s * \left(\frac{d_e}{s_f}\right)^{-0,54} * \left(\frac{h}{s_f}\right)^{-0,14} * Re^n = 77,79$$

Koeficijent prijelaza topline na strani zraka: α_a

$$\alpha_a = \frac{Nu * \lambda_{zr}}{s_f} = 218,78 \frac{W}{m^2 K}$$

Koeficijent povećanja prijelaza topline zbog vlažne površine isparivača: ξ_w

$$\xi_w = 1 + 2500 * \frac{x_{a1} - x_s}{\vartheta_{a1} - \vartheta_s} = 1,765$$

Uvećani koeficijent prijelaza topline na strani zraka: α_{aw}

$$\alpha_{aw} = \xi_w * \alpha_a = 386,08 \frac{W}{m^2 K}$$

Koeficijent prijelaza topline u odnosu na unutarnji promjer cijevi: α_{ai}

Faktor otpora zbog nesavršenosti kontakta cijevi i rebara: $C_k = 0,98$

Učinkovitost rebara: E

$$\text{Toplinska provodnost aluminija: } \lambda_f = 209 \frac{W}{mK}$$

$$m_f = \sqrt{\frac{2 * \alpha_{aw}}{f_t * \lambda_f}} = 64,71 \text{ m}^{-1}$$

$$A_f = s_1 = 0,05 \text{ m}$$

$$B_f = s_2 = 0,05 \text{ m}$$

$$\rho_f = 1,27 * \frac{B_f}{d_v} * \sqrt{\frac{A_f}{B_f} - 0,3} = 4,77$$

$$h_f = 0,5 * d_v * (\rho_f - 1) * (1 + 0,35 * \ln \rho_f) = 0,035 \text{ m}$$

$$E = \frac{th(m_f * h_f)}{m_f * h_f} = 0,4322$$

$$\alpha_{ai} = \alpha_{aw} * \frac{A_f * E * C_k + A_{mt}}{A_{i1}} = 3540,5 \frac{W}{m^2 K}$$

Koeficijent prolaza topline sveden na unutarnju stranu cijevi: k_u

$$k_u = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ai}} + R_o * \frac{1}{\beta} + R_t * \frac{d_u}{d_m} + R_i + \frac{1}{\alpha_{rt}}} = 560,86 \frac{W}{m^2 K}$$

Specifični rashladni učin sveden na unutarnju površinu cijevi: q_u

$$q_u = k_u * \Delta\vartheta_m = 2888 \frac{W}{m^2}$$

4.4. Proračun kondenzatora:

Zbog nedostatka konstrukcijskih parametara kondenzacijske jedinice proračunu se pristupilo sa pretpostavkom nepromjenjivosti umnoška koeficijenta prolaza topline i vanjske površine za izmjenu topline kondenzatora.

Taj je umnožak utvrđen usporedbom kondenzacijske jedinice LH64/2U-3.2Y sa kondenzacijskim jedinicama LH64/2EC-3.2Y, LH64/2DC-3.2Y, LH64/2CC-3.2Y po načelu sličnosti. Usporedba je provedena pomoću licenciranog Bitzerovog programa za procjenu radnih parametara u zadanim uvjetima [13]. Zadani uvjeti odgovaraju uvjetima iz kataloga za kondenzacijsku jedinicu LH64/2U-3.2Y.

Zadani uvjeti su:

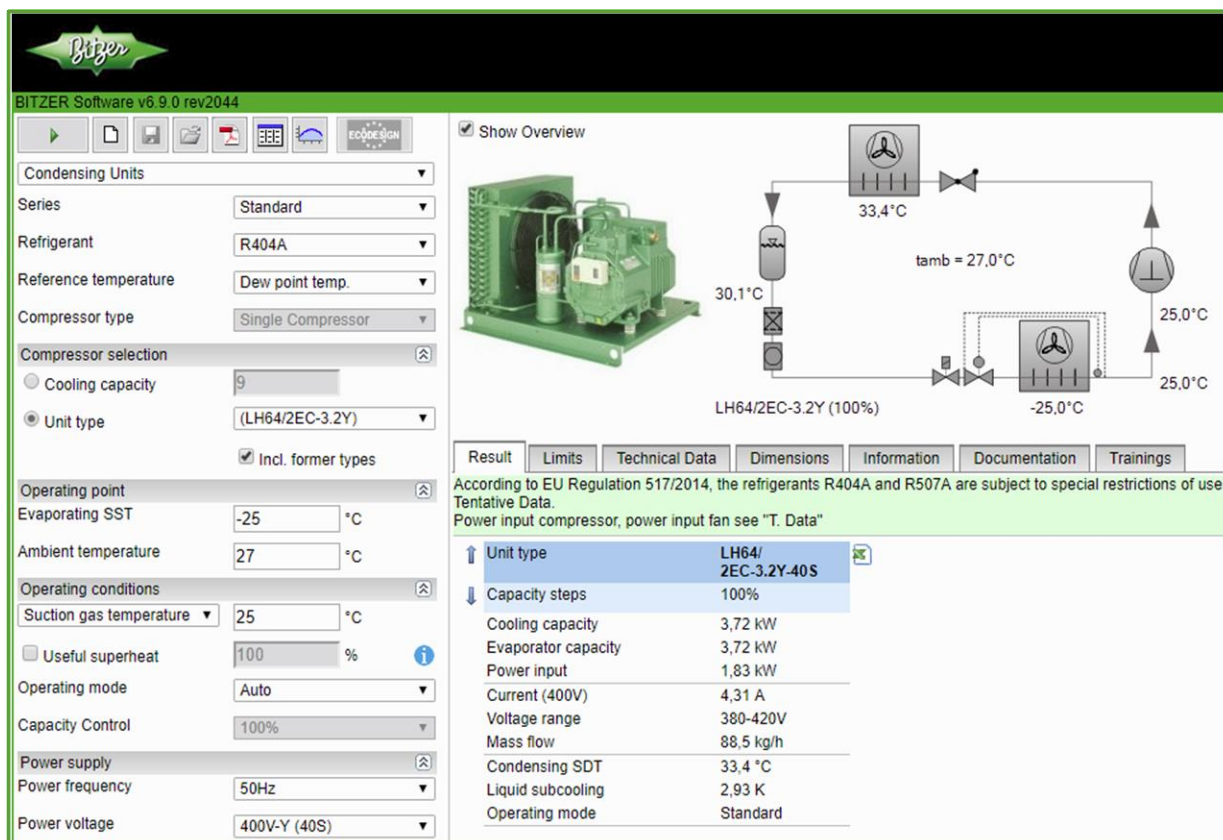
$$\text{Temperatura okoliša: } \vartheta_{v1} = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatura isparavanja: } \vartheta_i = -25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Pothlađenje: } \Delta\vartheta_p = 3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatura radne tvari na usisu kompresora: } \vartheta_u = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Volumni protok zraka preko kondenzatora: } q_{vk} = 3890 \frac{m^3}{h}$$



Slika 8. Bitzer program korišten za proračun

Parametri procesa su sljedeći:

kompresor	LH64/2U-3.2Y	LH64/2CC-3.2Y	LH64/2DC-3.2Y	LH64/2EC-3.2Y
ϑ_i [°C]	-25	-25	-25	-25
ϑ_k [°C]		35,8	34,4	33,4
ϑ_{v1} [°C]	27	27	27	27
ϑ_{v2} [°C]		33,2	32,2	31,5
$\Delta\vartheta_p$ [°C]		3	3	3
q_{mrt} [kg/s]		0,0343	0,0283	0,0246
ϕ_o [W]	5920	5080	4250	3720
P [W]	3010	2580	2140	1830
$\Delta\vartheta_{mk}$ [°C]		5,08	4,28	3,7
$k \cdot A$ [W/K]		1507	1490	1500

Tablica 4. Usporedba kompresora

Iz *Tablice 4.* se vidi kako odstupanje umnoška za različite kondenzacijske jedinice pri istim uvjetima ne prelazi više od 1% ako se prihvati korektnim umnožak:

$$k * A = 1500 \frac{W}{K}$$

S tim rezultatom ulazimo u proračun kondenzatora za naše uvjete postavljene na početku proračuna kako bismo utvrdili stvarnu temperaturu kondenzacije.

Snaga kompresora: P

$$\text{Entalpija radne tvari na izlazu iz kompresora: } h_2 = 411700 \frac{J}{kg}$$

$$\text{Entalpija radne tvari nakon pregrijanja: } h_1 = 356100 \frac{J}{kg}$$

$$P = q_{mrt} * (h_2 - h_1) = 2011 W$$

Učin kondenzatora: ϕ_k

$$\phi_k = \phi_o + P = 5650 W$$

Temperatura zraka na izlazu kondenzatora: ϑ_{v2}

$$\vartheta_{v2} = \frac{\phi_k}{\rho_{zr} * c_{pZR} * q_{vk}} + \vartheta_{v1} = 36,5 \text{ } ^\circ C$$

Srednja logaritamska temperaturna razlika kondenzatora: $\Delta\vartheta_{mk}$

$$\Delta\vartheta_{mk} = \frac{\phi_k}{k * A} = 3,8 \text{ } ^\circ C$$

Temperatura kondenzacije: ϑ_k

$$\Delta\vartheta_{mk} = \frac{\vartheta_{v2} - \vartheta_{v1}}{\ln\left(\frac{\vartheta_k - \vartheta_{v1}}{\vartheta_k - \vartheta_{v2}}\right)}$$

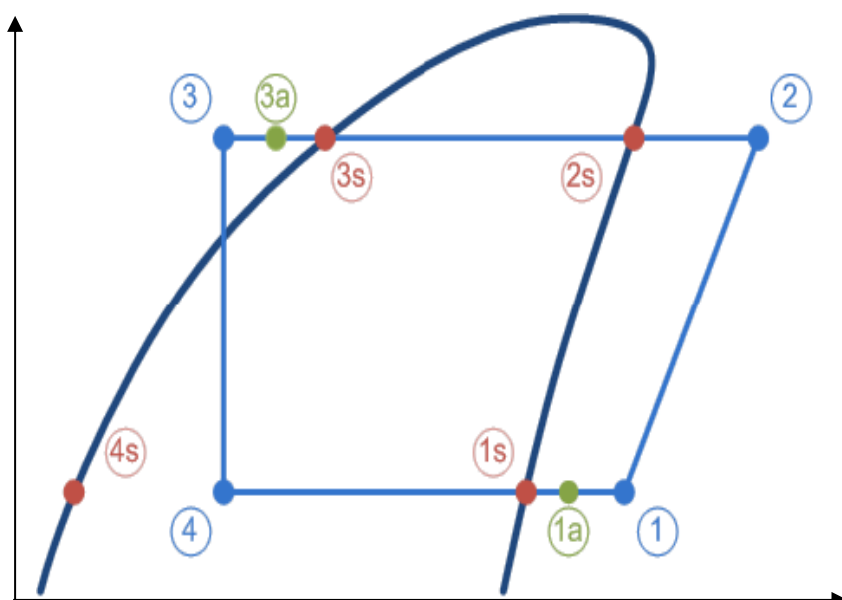
$$\text{Iz čega slijedi: } \vartheta_k = 38,5 \text{ } ^\circ C$$

Faktor hlađenja:

$$\varepsilon = \frac{\phi_o}{P} = 1,81$$

R404A	Temperatura	Tlak	Gustoća	Entalpija	Entropija
Točka stanja	[K]	[Pa]	[kg/m ³]	[J/kg]	[J/(kg·K)]
1	253	248600	12,5	356100	1638
2	336	1733000	76,94	411700	1685
2s	311	1733000	95,44	380100	1587
3s	311	1733000	979,5	256200	1189
3a	311	1733000	979,6	256200	1189
3	309	1733000	990,6	252900	1179
4	248	248600	27,06	252900	1222
4s	247	248600	1243	165600	869
1s	248	248600	12,85	351800	1621
1a	250	248600	12,71	353500	1628

Tablica 5. Točke stanja sa pripadajućim vrijednostima za proces hlađenja sa R404A



Slika 9. Prikaz rashladnog procesa u log(p)-h dijagramu

Tablica 5. i Slika 9. preuzete su iz Coolselectora. To je program koji nam omogućuje jednostavno i brzo očitavanje svojstava različitih radnih tvari za zadane uvjete. Isti je korišten i za očitavanje svojstava zamjenskih radnih tvari.

Coolselector2 - #404a.cspj

File Options Tools About **Selections** Report Bill of Materials

Electronic expansion valve 1 X + New

System: Dry

Selected line: Liquid line

Operating conditions:

Capacity:

Mass flow in line: 0,0... kg/s

Cooling capacity: 3640 W

Heating capacity: 5630 W

Evaporation:

Dew point temperature: 248 K

Useful superheat: 2,0 K

Additional superheat: 3,0 K

Condensation:

Middle point temperature: 311 K

Subcooling: 0 K

Additional subcooling: 2,0 K

Additional:

Discharge temperature: 336 K

Selection criteria:

Load: 80 %

Distributor pressure drop: 0 Pa

Liquid line (Dry expansion system. R404A. Electronic expansion valve)

Selection: AKV 10-5 No code numbers selected

Selected	Type	NS	Max. capacity [W]	Min. capacity [W]	Load [%]	DP [Pa]	Velocity, in [m/s]	Result
<input type="radio"/>	AKV 10-1	10	770,7	77,07	472	1484000	0,73	⚠
<input type="radio"/>	AKV 10-2	10	1310	131	278	1484000	0,73	⚠
<input type="radio"/>	AKV 10-3	10	1927	192,7	189	1484000	0,73	⚠
<input type="radio"/>	AKV 10-4	10	3542	354,2	103	1484000	0,73	⚠
<input checked="" type="radio"/>	AKV 10-5	10	4925	492,5	74	1484000	0,73	✓

Refrigerant: R404A

Connections: All

Product families:

- ETS Colibri
- ETS 6
- ETS
- CCM
- CCMT
- AKV**
- AKVH
- ICM
- AKVA

AKV pulse width modulated expansion valve for small to mid-size systems. Normally closed type.

Performance curve **Performance details** **Code number selection**

System diagram Mass flow in evaporator: 0,0362 kg/s

Point	Description	Temperature [K]	Pressure [Pa]	Density [kg/m³]	Enthalpy [J/kg]	Entropy [J/(kg·K)]
1	Compressor suction	253	248600	12,5	356100	1638
2	Compressor discharge (estimated)	336	1733000	76,94	411700	1685
2s	Condensation dew point	311	1733000	95,44	380100	1587
3s	Condensation bubble point	311	1733000	979,5	256200	1189
3a	Condenser out	311	1733000	979,6	256200	1189
3	Including additional subcooling	309	1733000	990,6	252900	1179
4	After expansion valve	248	248600	27,06	252900	1222
4s	Evaporation bubble point	247	248600	1243	165600	869
1s	Evaporation dew point	248	248600	12,85	351800	1621
1a	Evaporator out	250	248600	12,71	353500	1628

Slika 10. Program Coolselector

5. Zamjenske radne tvari i usporedba

5.1. Zamjenske radne tvari

Nakon analize tržišta i svojstava različitih radnih tvari, uzimajući u obzir da iznos GWP-a zamjenskih radnih tvari bude niži od 2500 kako bi bio zadovoljen uvjet iz Priloga III Uredbe (EU) br. 517/2014, odabrano je nekoliko radnih tvari koje odgovaraju kao moguća zamjena za postojeći rashladni uređaj. Radne tvari koje zadovoljavaju sve uvjete su R407A, R407F, R448A, R449A te relativno nova radna tvar, R452A.

Sve navedene tvari imaju gotovo dvostruko niži GPW od radne tvari R404A, te svojim fizikalnim svojstvima odgovaraju kao zamjenske radne tvari za postojeći uređaj bez velikih zahvata potrebnih za prilagodbu uređaja. Također već postojeće ulje u uređaju pogodno je za primjenu sa navedenim radnim tvarima. Navedene radne tvari nisu zapaljive, niti toksične, te spadaju u grupu sigurnosti A1.

	R404A	R407A	R407F	R448A	R449A	R452A
ODP	0	0	0	0	0	0
GWP	3922	2017	1825	1273	1397	2141
Zapaljivost	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Toksičnost	ne	ne	ne	ne	ne	ne
ASHRAE sigurnosna grupa	A1	A1	A1	A1	A1	A1
Kritična temperatura, °C	72,14	82	83	83,7	81,5	74,9
Kritični tlak, bar	37,4	45	48	46,6	44,5	40
Temperatura vrenja (patm), °C	-46,6	-46	-46	-45,9	-46	-47
Klizanje temperature, °C	0,5	4	5	5	4	3

Tablica 6. Usporedba svojstava zamjenskih radnih tvari [14], [15], [16]

5.2. Usporedba zamjenskih radnih tvari sa R404A

Za zamjenske radne tvari proveden je termodinamički proračun po istom principu kao i za radnu tvar R404A. Nakon završenog postupka višestruke iteracije, došlo se do krajnjih parametara procesa koji su tablično prikazani za sve navedene tvari, u usporedbi sa radnom tvaru R404A u *Tablici 7*.

RADNA TVAR	R404A	R407A	R407F	R448A	R449A	R452A
Ti [°C]	-24,6	-24	-24,2	-24,2	-24,1	-24,2
Tk [°C]	38,5	37,2	37,4	37,5	37,5	37,9
Φ_o [W]	3638	2963	3080	3125	3098	3286
P [W]	2011	1588	1656	1674	1668	1867
COP	1,81	1,87	1,86	1,87	1,86	1,76
Tdis	63	85	92	84	83	68
qmrt	0,0362	0,0222	0,0204	0,0227	0,0230	0,0332
Cijena [kn/kg] [18]	850	1014	792	638	638	1225

Tablica 7. Usporedba parametara procesa zamjenskih radnih tvari i cijena

Vrijednosti veličina stanja rashladnog procesa, prikazanog na *Slici 9.*, za svaku radnu tvar dani su u sljedećim tablicama:

R407A	Temperatura	Tlak	Gustoća	Entalpija	Entropija
Točka stanja	[K]	[Pa]	[kg/m ³]	[J/kg]	[J/(kg·K)]
1	254	197500	8,957	387100	1770
2	356	1694000	60,76	458600	1827
2s	314	1694000	80,2	410400	1683
3s	310	1694000	1089	254400	1183
3a	310	1694000	1089	254300	1183
3	308	1694000	1099	251200	1173
4	245	197500	22,15	251200	1217
4s	243	197500	1356	159300	843,5
1s	249	197500	9,187	383000	1754
1a	251	197500	9,093	384600	1760

Tablica 8. Rashladni proces sa radnom tvari R407A

R407F	Temperatura	Tlak	Gustoća	Entalpija	Entropija
Točka stanja	[K]	[Pa]	[kg/m ³]	[J/kg]	[J/(kg·K)]
1	254	206700	8,594	407500	1853
2	365	1824000	56,67	488600	1916
2s	315	1824000	78,41	426500	1733
3s	311	1824000	1055	257300	1194
3a	311	1824000	1055	257300	1194
3	309	1824000	1065	254100	1184
4	245	206700	22,23	254100	1229
4s	243	206700	1323	157500	836,1
1s	249	206700	8,827	403200	1836
1a	251	206700	8,732	404900	1843

Tablica 9. Rashladni proces sa radnom tvari R407F

R448A	Temperatura	Tlak	Gustoća	Entalpija	Entropija
Točka stanja	[K]	[Pa]	[kg/m ³]	[J/kg]	[J/(kg·K)]
1	254	205700	8,958	392400	1792
2	357	1725000	59,18	466200	1851
2s	315	1725000	79	415100	1698
3s	310	1725000	1036	255300	1183
3a	310	1725000	1036	255300	1183
3	308	1725000	1046	252100	1172
4	245	205700	22,4	252100	1223
4s	243	205700	1295	159000	846,3
1s	249	205700	9,191	388200	1775
1a	251	205700	9,096	389900	1782

Tablica 10. Rashladni proces sa radnom tvari R448A

R449A	Temperatura	Tlak	Gustoća	Entalpija	Entropija
Točka stanja	[K]	[Pa]	[kg/m ³]	[J/kg]	[J/(kg·K)]
1	254	205800	9,09	389100	1778
2	356	1718000	60,16	461600	1836
2s	315	1718000	79,74	412400	1689
3s	310	1718000	1037	255200	1183
3a	310	1718000	1037	255200	1183
3	308	1718000	1047	252000	1172
4	246	205800	22,46	252000	1223
4s	243	205800	1297	159200	847,3
1s	249	205800	9,325	385000	1762
1a	251	205800	9,229	386600	1768

Tablica 11. Rashladni proces sa radnom tvari R449A

R452A	Temperatura	Tlak	Gustoća	Entalpija	Entropija
Točka stanja	[K]	[Pa]	[kg/m ³]	[J/kg]	[J/(kg·K)]
1	254	234200	12,34	352100	1624
2	341	1812000	82,97	408400	1671
2s	314	1812000	103,3	376800	1574
3s	311	1812000	1060	253600	1177
3a	311	1812000	1060	253500	1177
3	309	1812000	1071	250500	1168
4	247	234200	26,66	250500	1212
4s	245	234200	1347	164000	860,7
1s	249	234200	12,67	348000	1608
1a	251	234200	12,53	349600	1614

Tablica 12. Rashladni proces sa radnom tvari R452A

Usporedbom radnih parametara zamjenskih radnih tvari sa radnom tvari R404A u *Tablici 7.* uočava se povišena temperatura isparavanja kod svih radnih tvari u iznosu od 0,5 °C te nešto niža temperatura kondenzacije, za 1°C. Najveća odstupanja javljaju se kod radne tvari R407A, dok se temperaturama isparavanja i kondenzacije radne tvari R404A najviše približila radna tvar R452A.

Rashladni učin svih radnih tvari niži je nego u procesu hlađenja sa radnom tvari R404A. Međutim, snaga kompresora je manja, stoga dolazimo do većeg COP-a svih radnih tvari za 3-4% osim radne tvari R452A, kojoj je rashladni učin najveći od zamjenskih radnih tvari, ali joj je snaga kompresora nerazmjerno povećana, te dolazimo do COP-a koji je po iznosu 3% niži od radne tvari R404A.

Temperatura radne tvari nakon kompresije povišena je kod svih radnih tvari. Najveća po iznosu je temperatura radne tvari R407F, 92°C, a najniža kod radne tvari R452A, 68°C. Sve su temperature unutar granice izdržljivosti kompresorskog ulja, koje može podnijeti temperature do 240°C, međutim treba obratiti pažnju na pregrijavanje kompresora, stoga su poželjnije niže temperature radne tvari nakon kompresije.

Zbog manje gustoće radne tvari na usisu kompresora, maseni protok zamjenskih tvari niži je za 40%, osim radne tvari R452A, koja ima 10% manji maseni protok. To će se odraziti na količinu punjenja zamjenske radne tvari.

Cijenom su najisplativije radne tvari R448A i R449A, a najskuplja je radna tvar R452A.

	Skupina	Sastav	Maseni udjeli (%)
R404A	HFC	R143a, R125, R134a	52/44/4
R407A	HFC	R32, R125, R134a	20/40/40
R407F	HFC	R134a, R125, R32	40/30/30
R448A	HFO	R32, R125, R134a, R1234ze, R1234yf	26/26/21/7/20
R449A	HFO	R134a, R125, R32, R1234yf	25/25/25/25
R452A	HFO	R32, R1234yf, R125	11/30/59

Tablica 13. Sastav radnih tvari

6. Zamjena

6.1. Odabir zamjenske radne tvari

Nakon provedene usporedbe došlo se do zaključka da je najbolji odabir za zamjenu radna tvar R448A. Više je razloga za odabir baš te radne tvari.

GWP radne tvari R448A najniži je od mogućih zamjenskih tvari. Isto tako, cijenom je najpovoljnija, a energetski najučinkovitija, ostvarujući rashladni učin 5% niži od radne tvari R452A, ali sa COP-om koji je pak 5% veći.

6.2. Zamjena radne tvari rashladnog uređaja

Radna tvar R448A ne zahtjeva velike zahvate pri preinaci rashladnog uređaja, te se zamjena provodi standardnim postupkom zamjene radne tvari po navedenim točkama sljedećim redom [19]:

- Snimiti radne parametre uređaja za izvorne radne uvjete (struja, usisni tlak, tlak nakon kompresije, pregrijanje, pothlađenje, protok radne tvari kroz cijev u razdjelniku kapljevine).
- Isprazniti rashladni uređaj pomoću odgovarajuće opreme za uklanjanje radne tvari kroz ventil ili priključak u kapljevinskom vodu na visokotlačnoj strani
- Zabilježiti količinu rashladne tvari (potrebno za dokumentaciju o otpadu, kao i izračunavanje količine nove radne tvari R448A).
- Odabrati novo ulje kompresora.
- Ispustiti postojeće ulje iz kompresora, odvajača ulja i sabirnika ukapljene rashladne tvari.
- Izmjeriti količinu ispuštenog ulja.
- Promijeniti / očistiti filtre ulja kompresora.
- Procijeniti rad termoekspanzijskog ventila za novu radnu tvar (savjetovati se sa proizvođačem). Moguće je povećano pregrijanje, te je upitna regulacijska funkcija ventila ako je podopterećen prilikom djelomičnog opterećenja rashladnog uređaja.
- Ako se zamjena vrši iz HCFC-a, postoji potreba za zamjenom svih elastomernih ("O" prstenastih) brtvi (to se ne bi trebalo zahtijevati ako se mijenja iz trenutnog HFC-a na alternativni HFC ili HFO).

- Zamijenite filter sušaće i usisne filtre.
- Napuniti uređaj sa odgovarajućim uljem; upotrijebite isti iznos koji je uklonjen.
- Provjeriti uređaj na propuštanje i napraviti popravke po potrebi.
- Evakirati sustav zbog uklanjanja vlage i zraka u sustavu. Evakuacija se vrši spajanjem vakuum pumpe na niskotlačnu ili visokotlačnu stranu kompresora. Tlak u uređaju se postavlja na 0,67mbar.
- Napuniti sustav novom radnom tvari u kapljevitoj fazi. Za upute o količini kontaktirati proizvođača. Početno punjenje trebalo bi biti približno 90 do 95% preporučenog punjenja po težini s konačnim podešavanjem tijekom konačnog puštanja u pogon uređaja. Zapisati količinu punjenja nove radne tvari.
- Provjeriti rad sustava i upravljačke sklopove. Radni tlakovi mogu biti različiti u odnosu na izvorne i možda je potrebna regulacija ventilatora kondenzatora te kontrola uvjeta okoline.
- Ako je potrebno, podesiti masu radne tvari.
- Komponente uređaja označiti s tipom nove radne tvari i maziva, uključujući korištene količine.
- Nadzirati sustav promatranjem stanja ulja. Promijeniti filtre prema potrebi. Rad uređaja sa novom radnom tvari pri projektnim uvjetima može uzrokovati povrat izvornog ulja i ostalih zaostataka iz izvorne instalacije.

6. Zaključak

Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima rada, izvršena je termodinamička analiza rashladnog uređaja u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje, Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Proračun je proveden za radnu tvar R404A, te usporedno i za zamjenske radne tvari nižeg GWP-a.

Zamjena se mora izvršiti jer radna tvar nakon primjene F-gas regulative, točnije od 1. siječnja 2020. godine neće biti zakonski dozvoljena u uređajima takvog tipa.

Iako radna tvar R404A ostvaruje najveći rashladni učin, COP uređaja niži je za 3-4% u odnosu na neke od navedenih zamjenskih radnih tvari. Stoga sama zamjena nema nužno negativan utjecaj na rad i performanse uređaja, upravo suprotno, možemo postići veću energetska učinkovitost uređaja sa novom radnom tvari.

Kako su zakonski okviri doneseni već prije nekoliko godina, industrija se počela prilagođavati, te su zamjenske radne tvari u komercijalnim i transportnim uređajima za hlađenje koje su provedene u praksi polučile pozitivne rezultate, baš kao i u ovom radu [20].

Zamjenska radna tvar odabrana za zamjenu jest radna tvar R448A. Ona se pokazala kao idealan odabir sa višestrukim prednostima. Prije svega zbog dvostruko nižeg GWP-a, 25% niže cijene i boljeg COP-a u odnosu na radnu tvar R404A. Jedini nedostatak je povišena temperatura nakon kompresije, međutim niti ona ne predstavlja nepremostivi nedostatak, zbog sve kvalitetnijih ulja u uređajima koja mogu bolje podnositi više temperature. Naravno da se prilikom zamjene radne tvari mora obratiti pozornost na sve moguće promjene u radu uređaja, a time i napraviti odgovarajuće prilagodbe na samom uređaju, kako je već navedeno u poglavlju 6.2.

Unatoč tome što je radna tvar R448A više nego kvalitetna zamjena, ona ne predstavlja potpuno rješenje problema, barem ne dugoročno. Logično je za očekivati još rigoroznije regulative i zakone koji će dodatno pomicati dozvoljenu granicu GWP-a prema nižim vrijednostima. U takvim okolnostima radna tvar R448A, iako dvostuko nižeg GWP-a od radne tvari R404A, postala bi neadekvatna. U tom slučaju teži se novim mješavinama radnih tvari koje više ne pripadaju skupini HFC-a, već HFO-a, ili čak sasvim prirodnim tvarima. Međutim te radne tvari još su uvijek u fazi razvoja i ispitivanja, te će tijekom prijelaznog razdoblja radna tvar R448A poslužiti svrsi.

7. Literatura

- [1]< <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:31989L0108&from=EN>> Pristupljeno 17.9.2018.
- [2]Soldo, V., Grozdek, M.: Hlađenje i dizalice topline, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [3]< https://hr.wikipedia.org/wiki/Montrealski_protokol> Pristupljeno 17.9.2018.
- [4]< https://hr.wikipedia.org/wiki/Protokol_iz_Kyota> Pristupljeno 17.9.2018.
- [5]< <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R0517&from=HR>> Pristupljeno 17.9.2018.
- [6]< https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_06_61_1380.html> Pristupljeno 17.9.2018.
- [7]< http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/01/DKRCC.PD.HE0.A6.22_KVC_RJA.pdf> Pristupljeno 17.9.2018
- [8]< http://files.danfoss.com/technicalinfo/dila/01/DKRCC.PD.HA0.D7.02_KVP.pdf> Pristupljeno 17.9.2018.
- [9]< <http://www.skripta.info/wp-content/uploads/2016/07/Branimir-Pavkovic-Tehnika-hladjenja.pdf>> Pristupljeno 17.9.2018.
- [10] Ciconkov, R.: Refrigeration Solved Examples, Faculty of mechanical engineering Univerisity „Sv. Kiril & Metodij“, 2004.
- [11] Andrassy, M.: Stapni kompresori, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2004
- [12] Halasz, B., Galavić A., Boras I.: Toplinske tablice, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2013
- [13]< <https://www.bitzer.de/websoftware/Calculate.aspx?cid=1537189486078&mod=LH>> Pristupljeno 10.9.2018.
- [14]< https://www.boconline.co.uk/en/images/BAMPG_Refrigerants_R449A_tcm410-140677.pdf> Pristupljeno 15.9.2018.
- [15]< https://www.ecr-nederland.nl/files/documentatie_tecumseh_guidelines_r449a_r452a_gb.pdf> Pristupljeno 15.9.2018.
- [16]< https://www.boconline.co.uk/en/images/Refrigerants-Product-Data-Summary_tcm410-108590.pdf> Pristupljeno 15.9.2018.

- [17] Galović, A.: Termodinamika 2, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003
- [18]< <https://www.wolseley.co.uk/cooling/refrigeration/refrigeration-and-industrial-gases/conventional-refrigerants/>> Pristupljeno 16.9.2018.
- [19]< <https://www.agaseurope.com/media/2440/retrofit-guide.pdf>> Pristupljeno 17.9.2018.
- [20]< <https://www.agaseurope.com/media/4779/fpr-028-2017-05-en-tesco-retrofit-program.pdf>> Pristupljeno 19.9.2018.

Prilozi:

1. CD-R sa primjerom završnog rada
2. Katalog kondenzacijske jedinice
3. Katalog isparivačke jedinice

06-0005-0(1)

2
621.57.044
Германия
мг. 1

ОТДЕЛ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПАТЕНТОВ И НИИ П.М.

BITZER
I · N · T · E · R · N · A · T · I · O · N · A · L

Luftgekühlte
Verflüssigungs-
sätze

mit halbhermetischen
Hubkolbenverdichtern

Air-cooled
Condensing
Units

with Semi-hermetic
Reciprocating Compressors

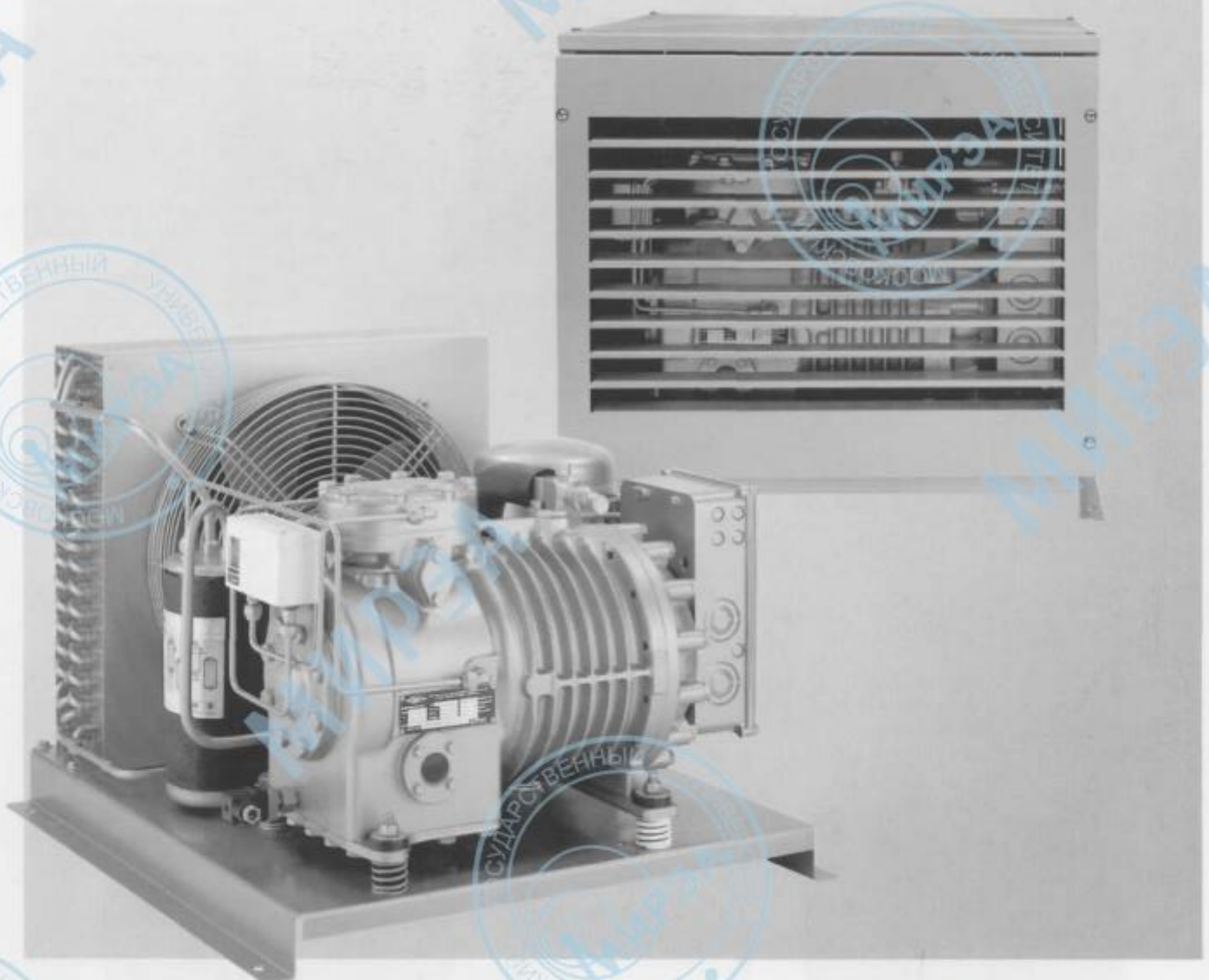
Groupes de
condensation
à air

avec compresseurs hermétiques-
accessibles à pistons

Bitzer



KP-215-4



R134a ■ R404A ■ R507 ■ R22

Version 50 Hz

Апрондман-99

Тегс. 28р.

Leistungswerte,
bezogen auf 25°C Sauggasttemperatur;
mit Flüssigkeitsunterkühlung; 50 Hz

Performance data,
based on 25°C suction gas temperature;
with liquid subcooling; 50 Hz

Données de puissance,
se référant une température de gaz aspiré de
25°C; avec sous-refroidissement; 50 Hz

Type	Umgeb.-Temp.	Kälteleistung Refrigerating capacity Puissance frigorifique	Q_0	[Watt]	Leistungsaufnahme Power consumption Puissance absorbée	P_e	[kW]							
Type	Ambient temp.													
Type	Temp. ambiante °C													
		↓	Verdampfungstemperatur °C				Evaporation temperature °C				Température d'évaporation °C			
			10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	
LH 64/2U-3.2Y	27	Q					10400	8770	7280	5920	4720	3650	2730	
		P					4,30	3,83	3,40	3,01	2,63	2,28	1,95	
	32	Q					9610	8110	6720	5460	4320	3320	2450	
LH 84/2U-5.2Y		P					4,52	4,01	3,53	3,09	2,67	2,28	1,89	
	43	Q							5450	4400	3450	2590	1840	
		P							3,78	3,25	2,75	2,27	1,81	
LH 84/2U-5.2Y	27	Q	17620	15290	13110	11100	9270	7630	6170	4880				
		P	5,22	4,77	4,37	4,01	3,66	3,32	2,97	2,62				
	32	Q	16320	14190	12170	10310	8600	7070	5700	4480				
LH 64/2Q-4.2Y		P	5,53	5,05	4,61	4,21	3,83	3,45	3,07	2,68				
	43	Q					8480	7070	5780	4620	3580			
		P					4,62	4,16	3,71	3,26	2,80			
LH 64/2Q-4.2Y	27	Q					11900	10120	8460	6930	5550	4330	3250	
		P					5,34	4,74	4,19	3,68	3,21	2,77	2,35	
	32	Q					10940	9320	7780	6370	5080	3930	2920	
LH 84/2Q-6.2Y		P					5,61	4,93	4,33	3,77	3,25	2,76	2,29	
	43	Q							5080	4010	3040	2180		
		P							3,93	3,33	2,75	2,20		
LH 84/2Q-6.2Y	27	Q	20050	17530	15140	12900	10840	8970	7290	5800				
		P	6,55	5,95	5,43	4,94	4,49	4,05	3,61	3,17				
	32	Q	18480	16200	14010	11940	10030	8280	6710	5320				
LH 84/2N-5.2Y		P	6,90	6,26	5,69	5,17	4,68	4,20	3,72	3,22				
	43	Q					8170	6720	5410	4220				
		P					5,03	4,46	3,89	3,31				
LH 84/2N-5.2Y	27	Q					15270	12960	10820	8860	7100	5540	4180	
		P					6,60	5,87	5,19	4,56	3,97	3,40	2,85	
	32	Q					14050	11950	9970	8160	6520	5060	3780	
LH 104/2N-7.2Y		P					6,93	6,14	5,40	4,71	4,06	3,43	2,82	
	43	Q							6590	5240	4020	2940		
		P							5,06	4,28	3,52	2,80		
LH 104/2N-7.2Y	27	Q	25200	22100	19080	16270	13680	11320	9210	7330				
		P	8,27	7,57	6,90	6,26	5,65	5,07	4,52	3,98				
	32	Q	23200	20350	17620	15050	12660	10470	8500	6750				
LH 104/4Z-8.2Y		P	8,69	7,96	7,25	6,57	5,91	5,28	4,66	4,06				
	43	Q					10310	8530	6900	5440				
		P					6,49	5,74	4,99	4,26				
LH 104/4Z-8.2Y	27	Q	25450	22200	19090	16200	13550	11140	8990	7090				
		P	7,97	7,30	6,64	6,01	5,40	4,81	4,24	3,67				
	32	Q	23450	20500	17630	14970	12500	10250	8240	6440				
LH 84/4V-6.2Y		P	8,43	7,70	6,98	6,28	5,60	4,95	4,32	3,69				
	43	Q					10150	8270	6560	5020				
		P					6,02	5,22	4,46	3,73				
LH 84/4V-6.2Y	27	Q					17010	14510	12140	9960	7980	6220	4670	
		P					7,69	6,77	5,94	5,18	4,47	3,81	3,18	
	32	Q					15630	13340	11160	9140	7290	5640	4180	
LH 114/4V-10.2Y		P					8,04	7,02	6,12	5,30	4,54	3,81	3,11	
	43	Q							7300	5750	4350	3100		
		P							5,48	4,61	3,80	3,01		
LH 114/4V-10.2Y	27	Q	29500	25750	22200	18920	15880	13120	10650	8450				
		P	9,31	8,54	7,79	7,07	6,38	5,71	5,05	4,40				
	32	Q	27200	23800	20550	17510	14690	12120	9800	7740				
LH 104/4T-8.2Y		P	9,86	9,02	8,20	7,41	6,64	5,90	5,18	4,47				
	43	Q					11980	9840	7900	6140				
		P					7,17	6,27	5,42	4,61				
LH 104/4T-8.2Y	27	Q					21250	18100	15160	12460	10020	7850	5950	
		P					9,37	8,28	7,31	6,41	5,57	4,79	4,05	
	32	Q					19540	16670	13960	11450	9170	7140	5340	
LH 114/4T-12.2Y		P					9,91	8,61	7,55	6,58	5,67	4,80	3,97	
	43	Q							9180	7280	5550	4010		
		P							6,84	5,80	4,83	3,90		
LH 114/4T-12.2Y	27	Q	33450	29550	25750	22150	18740	15610	12770	10240				
		P	11,99	10,94	9,92	8,95	8,03	7,17	6,33	5,51				
	32	Q		27200	23750	20450	17300	14400	11760	9380				
LH 114/4T-12.2Y		P		11,52	10,41	9,35	8,35	7,40	6,49	5,61				
	43	Q						11660	9460	7460				
		P						7,86	6,81	5,81				

① Leistungsaufnahme des Verdichters;
Werte für Verflüssiger-Ventilatoren siehe
"Technische Daten" (siehe Seite 16)

① Power consumption of compressor; values
for condenser fans see "Technical data"
(see page 16)

① Puissance absorbée du compresseur; pour
les valeurs des condenseur-ventilateurs
veuillez vous référer aux "Caractéristiques
techniques" (voir page 16)

Verflüssigungs- satz Typ	Verdichter Compressor Compresseur				Lüfter Fan Ventilateur ②			Sammler Receiver Réservoir					
	Stromart ①	max. Betr.-Strom			Strom- aufnahme	Leistungs- aufnahme	Luftdurch- satz Verflüssiger	Standard Typ	Maximale Kälte- mittelfüllung ③			Option größerer Sammlier	Gewicht (Stand.)
Condensing unit type	Kind of current ①	max. working current			Current consumption	Power consumption	Air flow condenser	Standard type	Maximum refrigerant charge ③			Option larger receiver	Weight (Stand.)
Groupe compresseur- condenseur type	Genre de courant ①	Courant de service max.			Consom. de courant	Consom. d'énergie	Débit d'air condenseur	Type standard	Charge maximum de fluide frigorigène ③			Option réservoir plus grand	Poids (Stand.)
	3-Ph 1-Ph "E"	3-Ph	1-Ph "E"		A	Watt	m³/h		R134a kg	R404A/ R507 kg	R22 kg		kg
LH33/2HC-1.2(E)(Y)	230 V±10%/3/50 Hz 400 V±10%/3/50 Hz	230 V±10%/1/50 Hz	5,9/3,4	12,5	0,55	118	1710	FS35	3,1	2,6	3,1	FS55	71
LH33/2HC-2.2(Y)			7,8/4,5	-	0,55	118	1710	FS35	3,1	2,6	3,1	FS55	73
LH33/2GC-2.2(E)(Y)			8,4/4,9	15,0	0,55	118	1710	FS35	3,1	2,6	3,1	FS55	73
LH44/2GC-2.2(E)(Y)			8,4/4,9	15,0	0,56	125	1840	FS55	5,9	4,7	5,8	FS75	81
LH44/2FC-2.2(E)(Y)			8,8/5,1	15,0	0,56	125	1840	FS55	5,9	4,7	5,8	FS75	80
LH44/2FC-3.2(Y)			10,4/6,0	-	0,56	125	1840	FS55	5,9	4,7	5,8	FS75	81
LH44/2EL-2.2(E)(Y)			9,7/5,6	18,0	0,56	125	1840	FS55	5,9	4,7	5,8	FS75	99
LH64/2EL-3.2(E)(Y)			11,3/6,5	19,6	1,41	301	3890	FS75	8,2	6,6	8,0	FS125	130
LH53/2DL-2.2(Y)			12/6,9	-	0,88	194	2530	FS55	5,9	4,7	5,8	FS75	115
LH64/2DL-3.2(Y)			13,8/8,0	-	1,41	301	3890	FS75	8,2	6,6	8,0	FS125	130
LH64/2CL-3.2(Y)			13,8/8,0	-	1,41	301	3890	FS75	8,2	6,6	8,0	FS125	130
LH84/2CL-4.2(Y)			15,5/9,0	-	3,08	485	4580	FS125	13,6	11,0	13,4	FS200	139
LH64/2U-3.2(Y)			16,9/9,6	-	1,41	301	3890	FS75	8,2	6,6	8,0	FS125	142
LH84/2U-5.2(Y)			21,6/12,5	-	3,08	485	4580	FS125	13,6	11,0	13,4	FS200	158
LH64/2Q-4.2(Y)			19,6/11,3	-	1,41	301	3890	FS75	8,2	6,6	8,0	FS125	145
LH84/2Q-6.2(Y)			23,3/13,5	-	3,08	485	4580	FS125	13,6	11,0	13,4	FS200	158
LH84/2N-5.2(Y)			22,9/13,2	-	3,08	485	4580	FS125	13,6	11,0	13,4	FS200	160
LH104/2N-7.2(Y)	400 V±10%/3/50 Hz Y - YY	400 V±10%/3/50 Hz Y - YY	31,1/18,0	-	2 x 1,47	2 x 316	7250	F150H	15,7	12,7	15,4		206
LH104/4Z-8.2(Y)			17	-	2 x 1,47	2 x 315	7250	F150H	15,7	12,7	15,4		251
LH84/4V-6.2(Y)			14	-	3,08	485	4580	F150H	15,7	12,7	15,4		221
LH114/4V-10.2(Y)			21	-	2 x 1,4	2 x 300	7800	F150H	15,7	12,7	15,4		268
LH104/4T-8.2(Y)			17	-	2 x 1,47	2 x 318	7250	F150H	15,7	12,7	15,4		249
LH114/4T-12.2(Y)			24	-	2 x 1,4	2 x 300	7800	F150H	15,7	12,7	15,4		272
LH114/4P-10.2(Y)			21	-	2 x 1,4	2 x 300	7800	F150H	15,7	12,7	15,4		271
LH135/4P-15.2(Y)			31	-	2 x 1,62	2 x 750	12650	F300H	31,4	25,4	30,9		333
LH124/4N-12.2(Y)			24	-	2 x 3,08	2 x 480	9100	F300H	31,4	25,4	30,9		310
LH135/4N-20.2(Y)			37	-	2 x 1,62	2 x 750	12650	F300H	31,4	25,4	30,9		336
LH135/4J-13.2(Y)			27	-	2 x 1,62	2 x 750	12650	F300H	31,4	25,4	30,9		360
LH135/4J-22.2(Y)			39	-	2 x 1,62	2 x 750	12650	F300H	31,4	25,4	30,9		371
LH135/4H-15.2(Y)			31	-	2 x 1,62	2 x 750	12650	F300H	31,4	25,4	30,9		364
LH135/4H-25.2(Y)			45	-	2 x 1,62	2 x 750	12650	F300H	31,4	25,4	30,9		384
LH135/4G-20.2(Y)			37	-	2 x 1,62	2 x 750	12650	F300H	31,4	25,4	30,9		373
LH135/6J-22.2(Y)			39	-	2 x 1,62	2 x 750	12650	F300H	31,4	25,4	30,9		394
LH135/6H-25.2(Y)			45	-	2 x 1,62	2 x 750	12650	F300H	31,4	25,4	30,9		405

① Andere Spannungen und Stromarten
auf Anfrage.

② LH33/2HC-1.2(Y) ... LH124/4N-12.2(Y):
230 V/1/50Hz ± 10%;
LH135/.../...:
230VΔ/400 VY/3/50 Hz ± 10%
eingebauter Wicklungsthermostat

③ 50°C Flüssigkeitstemperatur,
95% Behälterinhalt, Standard-Type

① Other voltages and electrical supplies
on request.

② LH33/2HC-1.2(Y) ... LH124/4N-12.2(Y):
230 V/1/50Hz ± 10%;
LH135/.../...:
230VΔ/400 VY/3/50 Hz ± 10%
incorporated winding thermostat

③ 50°C liquid temperature,
95% tank capacity, standard type

① D'autres types de courant et tensions
sur demande.

② LH33/2HC-1.2(Y) ... LH124/4N-12.2(Y):
230 V/1/50Hz ± 10%;
LH135/.../...:
230VΔ/400 VY/3/50 Hz ± 10%
thermostat de bobinage incorporé

③ 50°C température de liquide,
95% contenance du réservoir, type standard

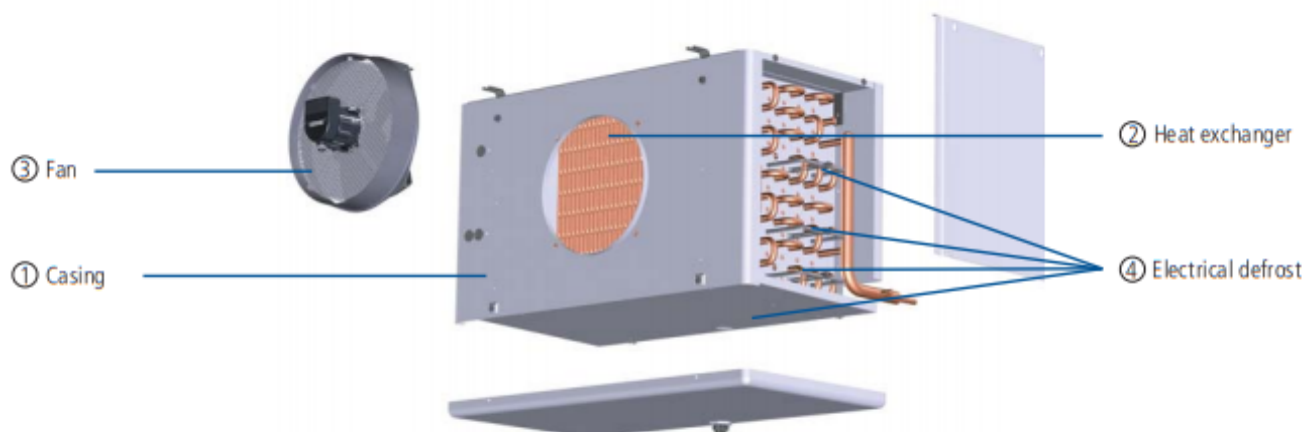


Küba SG commercial





Construction



1. Casing

- Al-Stucco
- High-grade powder coating, papyrus white RAL 9018
 - Food quality
 - Easy to clean
 - Optimum corrosion protection
- Drip tray and side panels removable
- Stainless steel mounting material and brackets
- Plastic drain

2. Heat exchanger

- Fin spacing
 - SGA.C: 4,5 mm
 - SGB.C: 7 mm
 - SGL.C: 12 mm
- Tube arrangement aligned, spacing 50 x 50 mm
- HFE® tube / fin system
- Tubing: Cu-special
- Fins: Al
- End plates: Al
- Küba-CAL® refrigerant distributor for multiple injection

3. Fans

- Ø 250 to 500 mm
- In accordance with VDE specifications with built-in protector
- Application range: -40 °C bis +45 °C
- SG. 011 -083C: 230 ±10%V-1~, 50/60Hz
- SG.091 -103C: 400±10%V-3~, 50/60Hz
- Protection class IP44 in accordance with EN 60529
- Insulation class F in accordance with EN 60034
- Operating data can be found with Küba Select or in the technical data

Optional Controller:	011-083	091-103
Phase control	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Transformer	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Delta / star	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Frequency converter	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



Please observe the manufacturer's information.

Motor label data (max. allowable value +40°C)

	50 Hz			60 Hz		
	min ⁻¹	W	A	min ⁻¹	W	A
SG.011/021C	1300	38	0,17	1500	52	0,21
SG.031/041C	1300	90	0,40	1415	128	0,51
SG.051-081C	1360	210	0,95	1395	148	0,58
SG.091/101C	1400	450	1,00	1600	630	1,2



Note:

4 and 4 motor models on request

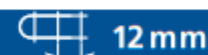
4. Electrical defrost

- 230 ±10% V-1~ or 400 ±10% V-3~ -Y
- Heaters with CrNi steel sleeve
- Vapour-tight connections
- Connector cable 1.5 mm² x 1000 mm
- Designed to defrost the fin package quickly and evenly
- To prevent vapour build-up and to accomplish heat transfer with almost no loss, the heaters are mounted in special expanded tube sleeves
- Wired ready for connection to the connection box in accordance with VDE specifications



Technical data (R404A)

SGL...C



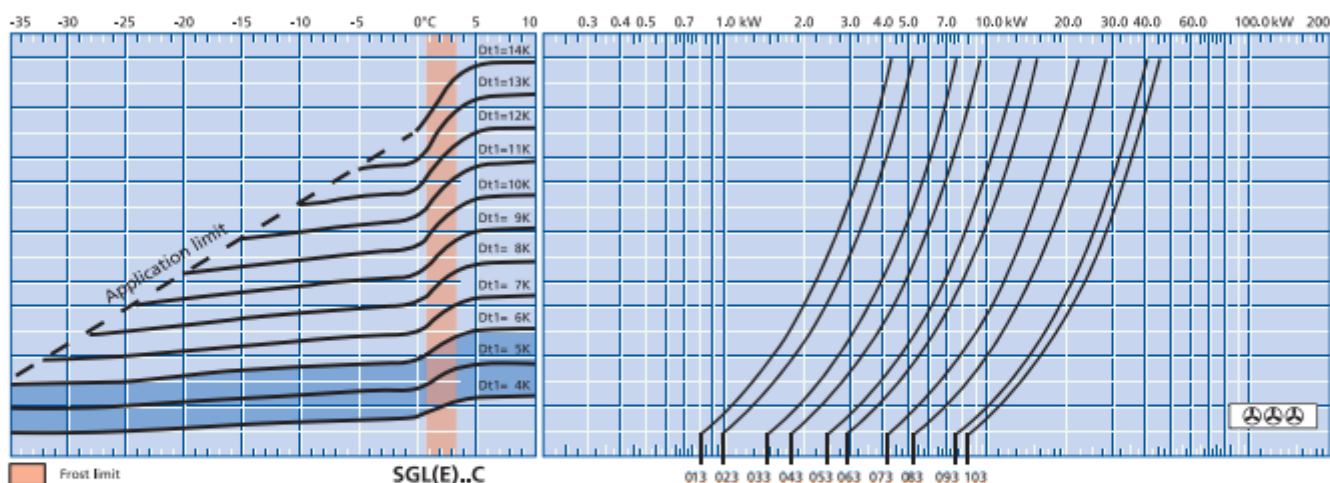
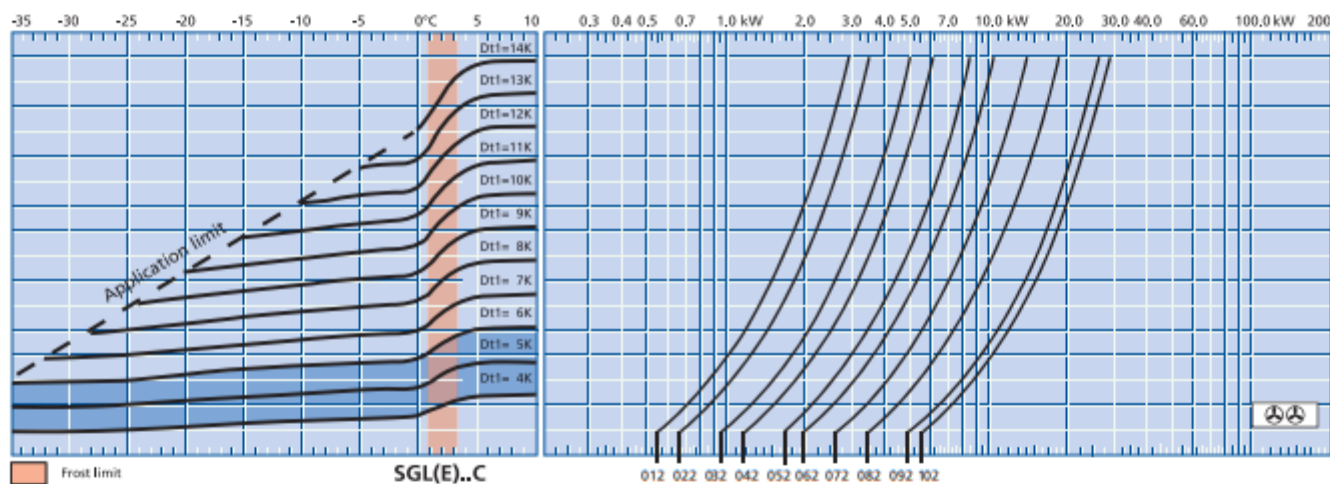
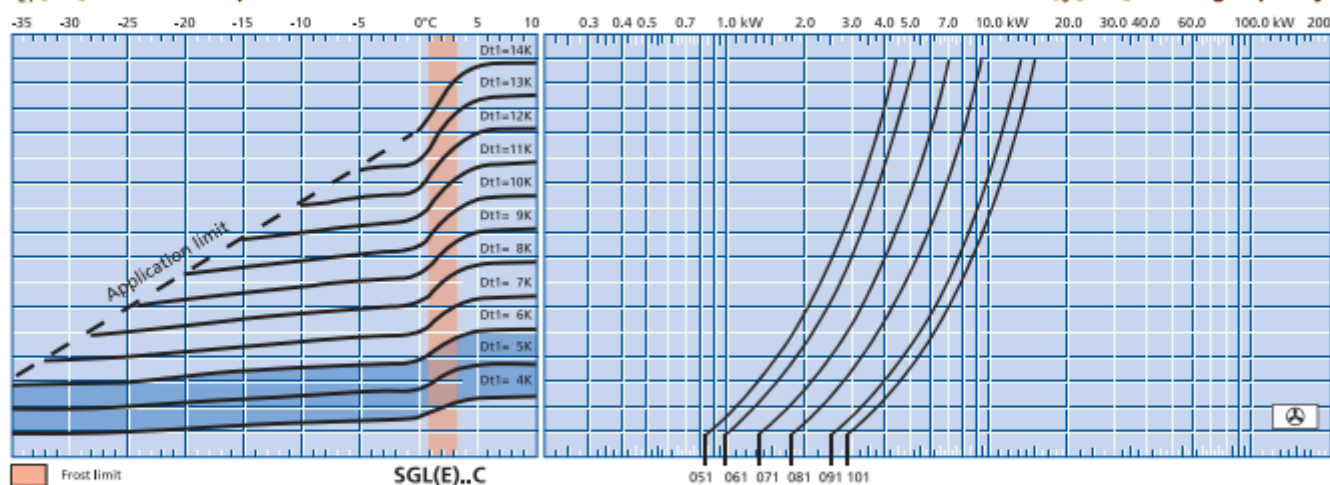
		Rating Q _a at 50 Hz		Surface	Air flow	Air throw	Tube volume	Connections			Fans (operating values at 50 Hz)			
Model		t ₁₃ ±0 °C DTI = 8K	t ₁₃ -18°C DTI = 7K					Inlet	Outlet	Blade	Type of current			
		kW	kW	m²	m³/h	m	dm³	Ø mm	Ø mm	Ø mm		min ⁻¹	W	A
SGL 051C	⊗	2,20	1,74	9,5	1910	15	3,8	10	22	400	230±10% V-1~	1307	105	0,46
SGL 061C	⊗	2,60	2,06	11,8	1900	15	4,8	10	22	400		1307	105	0,46
SGL 071C	⊗	3,69	2,92	14,1	3020	21	5,7	10*	22	400	50/60 Hz	1362	205	0,90
SGL 081C	⊗	4,70	3,73	21,1	3130	21	8,8	10*	28	400	230/400 ±10% V-3~	1362	205	0,90
SGL 091C	⊗	6,58	5,21	25,2	4890	28	10,6	10*	28	500		1417	360	0,86
SGL 101C	⊗	7,48	5,93	33,5	5020	28	13,6	12*	35	500	50/60 Hz	1417	360	0,86
SGL 012C	⊗⊗	1,45	1,15	5,9	1610	14	2,3	10	15	250	230±10% V-1~	1301	32	0,15
SGL 022C	⊗⊗	1,75	1,39	8,0	1470	14	3,1	10	18	250		1301	32	0,15
SGL 032C	⊗⊗	2,55	2,02	10,1	2990	19	3,9	10	18	300	230±10% V-1~	1295	86	0,38
SGL 042C	⊗⊗	3,09	2,45	13,5	2710	19	5,3	10	22	300		1295	86	0,38
SGL 052C	⊗⊗	4,40	3,49	18,5	3820	21	7,6	10*	28	400	50/60 Hz	1307	105	0,46
SGL 062C	⊗⊗	5,21	4,13	23,2	3800	21	9,1	12*	28	400	230/400 ±10% V-3~	1307	105	0,46
SGL 072C	⊗⊗	7,38	5,84	27,8	6050	30	10,6	12*	35	400		1362	205	0,90
SGL 082C	⊗⊗	9,39	7,45	41,5	6260	30	16,2	15*	35	400	230/400 ±10% V-3~	1362	205	0,90
SGL 092C	⊗⊗	13,14	10,41	50,0	9780	40	19,8	15*	35	500		1417	360	0,86
SGL 102C	⊗⊗	14,95	11,85	66,3	10000	40	26,1	15*	42	500	50/60 Hz	1417	360	0,86
SGL 013C	⊗⊗⊗	2,17	1,72	8,7	2410	17	3,4	10	15	250	230±10% V-1~	1301	32	0,15
SGL 023C	⊗⊗⊗	2,63	2,08	11,6	2210	17	4,5	10	22	250		1301	32	0,15
SGL 033C	⊗⊗⊗	3,82	3,03	15,0	4490	24	5,8	10	28	300	230±10% V-1~	1295	86	0,38
SGL 043C	⊗⊗⊗	4,63	3,67	20,0	4240	24	8,1	10*	28	300		1295	86	0,38
SGL 053C	⊗⊗⊗	6,61	5,23	27,7	5730	26	11,0	12*	35	400	50/60 Hz	1307	105	0,46
SGL 063C	⊗⊗⊗	7,81	6,19	34,6	5700	26	13,1	12*	35	400	230/400 ±10% V-3~	1307	105	0,46
SGL 073C	⊗⊗⊗	11,05	8,75	41,3	9070	37	16,2	15*	35	400		1362	205	0,90
SGL 083C	⊗⊗⊗	14,10	11,17	62,1	9400	37	24,5	22*	42	400	230/400 ±10% V-3~	1362	205	0,90
SGL 093C	⊗⊗⊗	19,72	15,63	74,5	14700	49	29,6	22*	54	500		1417	360	0,86
SGL 103C	⊗⊗⊗	22,43	17,77	99,1	15100	49	38,5	22*	54	500	50/60 Hz	1417	360	0,86

* Multiple injection with direct expansion using Küba CAL® distributors. The cooler rating at 60 Hz is 10% higher on average due to the higher speed and higher air flow.

Q_v chart (EN328, R404A)

SGL...C

12 mm

t_{L1} [°C] Air inlet temperatureQ₀ [kW] Cooling capacityQ₀ = Cooling capacityt_{L1} = Air inlet temperaturet₀ [°C] = Evaporating temperature (coil outlet)DT1 [K] = Temperature difference = t_{L1} - t₀ (°C)

DT1 = 4 K bis 6 K
with electronic expansion valve

Example selection:

For example and explanation, see the information section on p. 136.